UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

T E S I S

Evaluación geotécnica para el análisis de estabilidad física del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón de la minera SUNEC en Oxapampa - Pasco, 2025

Para optar el título profesional de:
Ingeniero Geólogo

Autores:

Bach. John Anderson INCHE VILLOGAS
Bach. Tereza Cristina RIVAS CORNELIO

Asesor:

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES

Cerro de Pasco – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

T E S I S

Evaluación geotécnica para el análisis de estabilidad física del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón de la minera SUNEC en Oxapampa - Pasco, 2025

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

_____	_____
Dr. Tito Marcial ARIAS ARZAPALO	**Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI**
PRESIDENTE	**MIEMBRO**

_____

Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI

MIEMBRO

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 036-2026-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. Jhon Anderson INCHE VILLOGAS

Bach. Tereza Cristina RIVAS CORNELIO

Escuela de Formación Profesional:

Ingeniería Geológica

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo:

Evaluación geotécnica para el análisis de estabilidad física del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón de la minera SUNEC en Oxapampa - Pasco, 2025

Asesor

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES

Índice de Similitud

4 %

Calificativo:

APROBADO

Se adjunta el informe y el reporte de evaluación del software Turnitin Similarity.

Cerro de Pasco, 30 de junio del 2026

Firma Digital UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN (AVANZADA)

Firmado digitalmente por PALOMINO ISIDRO Ruben Edgar FAU 20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.06.2026 22:07:44 -05:00

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la vida, el saber y la fuerza para seguir avanzando y gozar cada paso de este trayecto.

A mis ángeles, quienes me orientan y acompañan todos los días desde el cielo. A mis padres, por su amor sin límites y su respaldo incondicional en los momentos en que más los requería.

A mi hermana, por ser la fuente de inspiración y enseñarme que lo imposible se puede lograr con pasión. A mis amigos y familiares, por permanecer a mi lado en todo momento, sirviendo como mi refugio y fortaleza durante toda mi trayectoria profesional.

Tereza Cristina

A Dios y a Nuestros padres, que son las personas más importantes en nuestra vida y que nos han inspirado a perseverar.

Anderson John

AGRADECIMIENTO

A Dios, ya que nos ha otorgado su salud, sabiduría y fortaleza en todo el proceso de nuestra Formación Profesional, guiándonos en cada etapa hasta llegar al término de una importante y trascendental meta.

Agradecemos a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión y a la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica por brindarnos las herramientas necesarias para mejorar nuestras habilidades y completar este estudio.

Queremos manifestar nuestra gratitud sincera a los catedráticos de la Escuela de Ingeniería Geológica por compartir sus saberes con nosotros. Su dedicación e interés han jugado un papel clave en nuestra educación a nivel académico, personal y laboral.

Asimismo, deseamos dar las gracias a nuestro asesor de tesis por su asesoría y paciencia. Para terminar esta investigación de forma satisfactoria, su apoyo ha sido crucial.

Agradecemos al jurado evaluador por su tiempo, dedicación y observaciones constructivas, que contribuyeron a fortalecer la calidad y el rigor académico de esta investigación.

Por último, agradecemos a nuestros amigos y familiares por su apoyo incondicional, comprensión y estímulo constante; ellos nos impulsaron a seguir adelante hasta lograr este objetivo profesional.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es establecer las condiciones de estabilidad general del depósito y determinar su nivel de seguridad estructural ante posibles fallas físicas. El análisis del desempeño seguro del depósito, considerando su disposición irregular y la conducta geotécnica de los relaves, fue el motivo por el que se realizó esta investigación. Se llevaron a cabo análisis de instrumentos geotécnicos, así como pruebas de campo y de laboratorio, estudios de estabilidad estática y pseudoestática con el fin de evaluar la geotecnia de las estructuras y los componentes del depósito. La investigación empleada es de naturaleza aplicada y tiene una escala descriptiva. Se aplica el método analítico comparativo, que se basa en los fundamentos del equilibrio límite y la mecánica de los suelos. Los resultados mostraron que, con un factor de seguridad estático de 1.77, el depósito es estable en condiciones ordinarias; sin embargo, el factor pseudoestático disminuyó a 1.28, lo que demuestra la vulnerabilidad a los sismos y al peligro de licuefacción a causa de la baja cohesión del dique (5 kPa) y del comportamiento no drenado de los relaves. Para concluir, el depósito es constante en condiciones estables; no obstante, necesita optimizaciones en la instrumentación continua, el control piezométrico y el drenaje para conservar su estabilidad física y asegurar un funcionamiento seguro en circunstancias de saturación prolongada o sísmicas.

Palabras clave: Estabilidad física, relaves, cohesión, factor de seguridad, licuefacción.

ABSTRACT

The objective of this study is to establish the overall stability conditions of the tailings dam and determine its level of structural safety against potential physical failures. The analysis of the dam's safe performance, considering its irregular layout and the geotechnical behavior of the tailings, was the reason for conducting this research. Geotechnical instrument analyses, as well as field and laboratory tests, and static and pseudo-static stability studies were carried out to evaluate the geotechnical properties of the dam's structures and components. The research employed is applied in nature and has a descriptive scale. The comparative analytical method, based on the principles of limit equilibrium and soil mechanics, was used. The results showed that, with a static safety factor of 1.77, the dam is stable under ordinary conditions; however, the pseudo-static factor decreased to 1.28, demonstrating vulnerability to earthquakes and the risk of liquefaction due to the low cohesion of the dam (5 kPa) and the undrained behavior of the tailings. In conclusion, the tailings pond is stable under steady-state conditions; however, it requires optimizations in continuous instrumentation, piezometric control, and drainage to maintain its physical stability and ensure safe operation under prolonged saturation or seismic conditions.

Keywords: physical stability, tailings, cohesion, safety factor, liquefaction.

INTRODUCCIÓN

Uno de los elementos más importantes en la minería es la estabilidad física de los depósitos de residuos. Estos estanques, destinados a recoger los finos generados en los procesos metalúrgicos, requieren de un exhaustivo control técnico que garantice su estabilidad frente a las cargas estáticas, dinámicas y de saturación. En el Perú, donde la minería se desarrolla en áreas que normalmente presentan alta sismicidad y condiciones geotécnicas complicadas, las evaluaciones de estabilidad son fundamentales para prevenir licuefacción o fallos estructurales progresivos con graves consecuencias socioambientales.

Una distribución irregular de los relaves y condiciones geométricas que podrían poner en peligro la seguridad de la estructura. En caso de actividad sísmica o saturación, el principal problema de la represa de relaves de Pulpa Ramos Balcón, operada por Minera SUNEC, era la ausencia de un estudio exhaustivo de estabilidad física. Fue necesario realizar un análisis geotécnico completo de los materiales componentes y verificar el comportamiento de los relaves para establecer la estabilidad real del estanque. Para garantizar la verdadera estabilidad del estanque de relaves, fue necesario realizar una evaluación geotécnica exhaustiva.

El objetivo principal del estudio era determinar la estabilidad física general del estanque de relaves de Pulpa Ramos Balcón mediante una investigación geotécnica. Establecer la estabilidad física completa del estanque de relaves de Pulpa Ramos Balcón a través de un estudio geotécnico.Para tal fin, se establecieron objetivos específicos para identificar las características geotécnicas de los elementos del estanque y la presa, reconocer los parámetros geométricos e hidráulicos que afectan su desempeño y evaluar la estabilidad total en situaciones sísmicas y estáticas.

Se realizó la investigación de forma metódica, con un enfoque aplicado y niveles descriptivos y explicativos. Se utilizó un enfoque analítico-comparativo de tipo no experimental. Con este fin se emplearon datos obtenidos a partir de ensayos en laboratorio y en campo, así como de la evaluación de estabilidad mediante equipos geotécnicos

(piezómetros, inclinómetros, etc.) y el proceso de equilibrio límite. Los valores de peso unitario, ángulo de fricción y cohesión fueron comparados con las normativas técnicas tanto nacionales como internacionales. Así se pudieron establecer los elementos de seguridad en diferentes condiciones de carga.

La investigación está estructurada en cinco apartados: En el primer capítulo se aborda la delimitación, la formulación del problema, los objetivos y la justificación. El capítulo dos tiene una base científica y teórica y trata sobre la estabilidad física de los depósitos de relaves. El capítulo tercero contiene datos del método empleado, así como sobre la naturaleza y el diseño de la investigación. Se incluyen también la población y la muestra analizadas y los procedimientos utilizados para recabar e investigar datos. Finalmente, el capítulo cuatro, incluye un análisis exhaustivo de la estabilidad alcanzada tanto en laboratorio como en campo y las conclusiones geotécnicas.

La investigación, en última instancia, brinda una sólida base técnica para tomar decisiones sobre el diseño, la supervisión y el funcionamiento de los depósitos de relaves. Esto contribuye a asegurar la seguridad geotécnica en las actividades mineras.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO
RESUMEN
ABSTRACT
INTRODUCCIÓN
ÍNDICE
ÍNDICE DE TABLAS
ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema 1
1.2. Delimitación de la investigación 2
1.3. Formulación del problema 3
1.3.1. Problema general 3
1.3.2. Problemas específicos 3
1.4. Formulación de objetivos 4
1.4.1. Objetivo general 4
1.4.2. Objetivos específicos 4
1.5. Justificación de la investigación 4
1.6. Limitaciones de la investigación 6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio 7
2.2. Bases teóricas – científicas 13
2.3. Definición de términos básicos 18
2.4. Formulación de hipótesis 21
2.4.1. Hipótesis general 21
2.4.2. Hipótesis específicas 21
2.5. Identificación de variables 21
2.6. Definición operacional de variables e indicadores 21

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación 23

3.2. Nivel de investigación 24
3.3. Métodos de investigación 24
3.4. Diseño de investigación 24
3.5. Población y muestra 25
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 26
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 27
3.8. Tratamiento estadístico 28
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica 29

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de trabajo de campo 30
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados 31
4.3. Prueba de hipótesis 83
4.4. Discusión de resultados 85

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Página.

Tabla 1. Operacionalización de variables e indicadores 22
Tabla 2. Resumen de Aceleraciones Sísmicas y Periodos de Retorno 33
Tabla 3. Descripción de las Zonas de la Clasificación Climática de Thornthwaite 35
Tabla 4. Temperatura media a lo largo del año en cada estación. 35
Tabla 5. Cantidad máxima de lluvia en un periodo de 24 horas..... 36
Tabla 6. Resultados Estadísticos de la ETP (mm) para las Cuencas y Subcuencas 37
Tabla 7. Columna Estratigráfica Regional..... 38
Tabla 8. Columna Estratigráfica de la Zona de Estudio 41
Tabla 9. Criterios de Estabilidad Física..... 43
Tabla 10. Criterios de Diseño Civil del Depósito..... 43
Tabla 11. Criterios de Diseño para el Manejo de Aguas Superficiales 44
Tabla 12. Características Técnicas del Depósito de Relaves en pulpa Ramos Balcón 45
Tabla 13. Muestra un resumen de las características de las calicatas ejecutadas.g 48
Tabla 14. Resumen de Ensayos de Densidad In Situ..... 49
Tabla 15. Resumen de Ensayos DPL..... 50
Tabla 16. Resumen de Ensayos Geofísicos..... 51
Tabla 17. Resumen de Ensayos Geofísicos..... 51
Tabla 18. Resumen de Ensayos Estándar de Suelos 53
Tabla 19. Resumen de Ensayos de Conductividad Hidráulica..... 54
Tabla 20. Resumen de Ensayos de Compactación..... 54
Tabla 21. Resumen de Ensayos de Corte Directo..... 55
Tabla 22. Resumen de Ensayo Triaxial CU 56
Tabla 23. Resumen de Ensayos ABA 56
Tabla 24. Criterios de Clasificación según resultados ABA..... 57
Tabla 25. Explicación de los Valores de PNN..... 58
Tabla 26. Resumen de Ensayos Estándar de Suelos..... 59
Tabla 27. Síntesis de Ensayos de Compactación 60
Tabla 28. Síntesis de Ensayo Triaxial CU..... 61
Tabla 29. Especificaciones del Enrocado 62
Tabla 30. Envolvente No Lineal de Resistencia Cortante del Enrocado..... 64
Tabla 31. Especificaciones del Relleno Estructural..... 66
Tabla 32. Parámetros geotécnicos para el estudio de la estabilidad física..... 69
Tabla 33. Resumen de Parámetros Geotécnicos Utilizados 70

Tabla 34. Resultados Estudio de Estabilidad de Taludes 71
Tabla 35. Resumen de parámetros.....73

ÍNDICE DE FIGURAS

Página.

Figura 1. Ubicación y Localización de la Presa de Relaves en pulpa Ramos Balcón. 32
Figura 2. Mapa de Zonificación Sismica (RNE, 2025) 34
Figura 3. Ubicación en Planta de la Sección Crítica de Análisis 68
Figura 4. Componente relleno estructural 74
Figura 5. Componente Enrocado 75
Figura 6. Componente suelo de fundación 76
Figura 7. Componente relaves 78
Figura 8. Componente gaviones 80
Figura 9. Análisis pseudoestático 81
Figura 10. Análisis estático a corto plazo 82

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Dado que la productividad minera ha disminuido en los últimos años, es necesario construir balsas de relaves. La gestión de estanques de relaves es uno de los retos más importantes que enfrenta la industria minera hoy en día, en relación con las amenazas geotécnicas y ambientales vinculadas a su improperio manejo.

La minera SUNEC tiene una capacidad de procesamiento de mineral que produce un volumen considerable de relaves en pulpa, comenzando con 150 TMSD y proyectándose a 250 TMSD. Se ha determinado que los relaves producidos por las actividades mineras no están distribuidos uniformemente y, hasta el momento, no se sabe dónde se van a depositar los relaves en pulpa generados tras el tratamiento metalúrgico. Por esta razón, se diseñó un depósito para la presa de relaves en pulpa, que consistirá en una estructura principal de contención o dique, construida sobre un amplio afloramiento rocoso y suelo.

Esta circunstancia conlleva un riesgo latente de filtraciones, deslizamientos y derrumbes, lo cual podría repercutir negativamente en la seguridad ambiental y laboral. En este contexto, se necesita ejecutar un análisis geotécnico minucioso para caracterizar las condiciones físicas y mecánicas del depósito de relaves en pulpa

Ramos Balcón. La evaluación que se menciona tiene que proporcionar datos técnicos confiables que sirvan como base para examinar la estabilidad física de un sistema seguro y efectivo de disposición de relaves. Es únicamente a través de una intervención técnica apropiada que es posible disminuir los peligros relacionados con la gestión actual y asegurar que la operación minera sea responsable, conforme a las regulaciones para prevenir desastres y proteger el medio ambiente.

La investigación actual sugiere llevar a cabo una evaluación geotécnica para entender cómo se comportan los relaves y el suelo, y de esta manera efectuar un análisis de estabilidad física que asegure la integridad de estas estructuras.

1.2. Delimitación de la investigación

Delimitación espacial

La zona de investigación está ubicada en la cuadrícula del distrito Huancabamba, que pertenece a la provincia Oxapampa y al departamento Pasco:

- 8’848,579 N; 410,174 E a 8’848,579 N; 410,463 E
- 8’848,277 N; 410,463 E a 8’848,277 N; 410,174 E

Delimitación temporal

El desarrollo de la investigación comenzó en julio del 2024 y finalizó en julio del 2025.

Delimitación teórica

El estudio en cuestión se centra en la estabilidad física de los embalses de relaves de lodos y está teóricamente contextualizado en el campo de la ingeniería geotécnica. Considera las teorías, métodos y modelos establecidos en el ámbito de la mecánica de suelos y rocas.

Desde un enfoque conceptual, la investigación se basa en supuestos sobre el comportamiento mecánico de los suelos saturados de partículas de grano fino. La resistencia al corte, la presión intersticial, el ángulo de fricción interna, la cohesión, la densidad y la permeabilidad tienen un impacto directo sobre las estructuras donde se almacenan los relaves y también sobre cuán estables son los taludes. La perspectiva

de Terzaghi en relación con la tensión efectiva es aplicable para estudiar cómo se comportan los relaves geotécnicamente, ya sea en condiciones secas o húmedas.

La investigación se fundamenta en modelos teóricos para examinar la estabilidad de los taludes, como los métodos de equilibrio límite, que posibilitan el cálculo del factor de seguridad de un talud ante eventuales mecanismos de fallo. Los modelos numéricos complejos, como los de diferencias finitas o los de elementos finitos, son casos que no se analizan en profundidad. Los enfoques son representaciones de modelos numéricos complejos que no se examinan con profundidad.

En el marco teórico se tratan, además, los siguientes asuntos: la manera en la que se comporta la pulpa de relaves, la estabilidad física de estas construcciones, los parámetros de seguridad geotécnica y la clasificación y tipología de las presas de relaves.

Por último, el estudio se limita a ver la metodología y los conceptos necesarios para analizar los resultados obtenidos tanto en laboratorio como en campo. El objetivo es establecer la estabilidad del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón, brindando criterios técnicos que permitan sustentar conclusiones en el área de la geotécnica aplicada a la minería.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo la evaluación geotécnica del vaso del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón contribuye al análisis de su estabilidad física para asegurar su operación segura de la minera SUNEC en Oxapampa - Pasco, 2025?

1.3.2. Problemas específicos

a) ¿Cuáles son las características geotécnicas del vaso del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón que contribuye al análisis de su estabilidad física para asegurar su operación segura de la minera SUNEC en Oxapampa - Pasco, 2025?

b) ¿Cuál es la estabilidad global del vaso del depósito de relaves frente a posibles fallas por licuación o deslizamientos internos que contribuye al análisis de su estabilidad física para asegurar su operación segura de la minera SUNEC en Oxapampa - Pasco, 2025?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el aspecto geotécnico para identificar el análisis de su estabilidad física para el vaso del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón de la minera SUNEC en Oxapampa - Pasco, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

c) Determinar las características geotécnicas del vaso del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón que contribuye al análisis de su estabilidad física para asegurar su operación segura de la minera SUNEC.

d) Analizar la estabilidad global del vaso del depósito de relaves frente a posibles fallas por licuación o deslizamientos internos que contribuye al análisis de su estabilidad física para asegurar su operación segura de la minera SUNEC.

1.5. Justificación de la investigación

Justificación teórica

En teoría, el manejo de los relaves en pulpa plantea desafíos distintos a los que surgen con los relaves secos. La razón de ser de este estudio es indagar más a fondo en el comportamiento geotécnico del vaso en los cuales se depositarán los relaves.

En la selva central de Pasco, por su magnitud la precipitación pluvial es un factor primordial para realizar estudios geotécnicos y generando su inestabilidad; por lo tanto, es necesario comprender los efectos críticos del agua como la presión de los poros y el flujo subterráneo. No solo necesita datos, sino entender la manera en que el agua socava la "cohesión" que sostiene al depósito, utilizando teorías que nos

posibiliten anticipar reacciones antes de que sucedan.

En consecuencia, se busca determinar las características físicas del terreno para asegurar que la disposición de relaves en pulpa Ramos Balcón, perteneciente a la minera SUNEC en Oxapampa, sea una estructura predecible y estable, y de esta manera prevenir deslizamientos, salvaguardando el medio ambiente y las comunidades de la provincia de Oxapampa.

Justificación social

Se requiere realizar un estudio que garantice la seguridad física de las operaciones mineras que se realizan en Pulpa Ramos Balcón. Eso ocurre porque los relaves se están colocando en esa zona sin ningún estudio geotécnico previo, sin ningún diseño técnico adecuado. Este escenario conlleva un gran peligro de inestabilidad estructural, lo que podría derivar en deslizamientos, filtraciones, derrumbes y daños al medio ambiente natural y a las comunidades vecinas que no se puedan reparar.

Justificación metodológica

En un entorno tan vulnerable como Oxapampa, la investigación contemporánea está totalmente justificada, ya que fusiona el rigor científico con la responsabilidad ética de la ingeniería actual. En cuanto a los métodos, la investigación se apoya en técnicas contemporáneas y comprobadas. Desde la observación sistemática de calicatas y testigos de perforación en el área del vaso hasta la adición de estos datos en software para realizar modelados geotécnicos, estas técnicas comprenden todo. Esta perspectiva no solamente permite observar la interacción del terreno de fundación en tres dimensiones, sino que también crea un método robusto y reproducible para

garantizar la seguridad de las infraestructuras.

Desde un punto de vista teórico, el análisis es esencial ya que aplica los principios de la resistencia al esfuerzo cortante y la mecánica del suelo para comprender cómo se comportan los relaves en pulpa. Esto posibilita entender de qué

manera la saturación de lluvias, una característica propia de la selva pasqueña altera el balance de fuerzas en el contenedor del depósito. Esta base conceptual se convierte en una prueba concreta que, a través de modelaciones numéricas avanzadas y experimentos de laboratorio, ignora las hipótesis y transforma la incertidumbre geológica en un Factor de Seguridad fiable y comprobable.

Al final, la labor trasciende el cálculo matemático y se convierte en una herramienta de prevención y transparencia, asegurando que la actividad minera de SUNEC sea ecológica y técnicamente factible, además de ser segura para las comunidades locales. Esto sienta un precedente de buenas prácticas en la gestión de residuos mineros para el 2025.

1.6. Limitaciones de la investigación

En algunas zonas de la región analizada, el transporte de personal, equipos y herramientas se vuelve complicado a causa de un relieve accidentado, lo que restringe el cumplimiento del plan en el avance de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Antecedentes internacionales

Según Parsa (2025) en su artículo científico denominado: “Estudio de los factores que afectan la posición y estabilidad de la línea freática en presas de relaves aguas arriba”, indica que la posición de la línea freática afecta significativamente la estabilidad de las presas de relaves. Si no se atiende este asunto, en particular en presas de relaves que se construyen aguas arriba, ocurrirán perjuicios económicos y ecológicos irreparables, así como la muerte de personas. En este tipo de presa, la posición de la línea freática depende de varios factores, incluyendo la permeabilidad de los materiales de desecho, la segregación, la capacidad de depreciar el exceso de presión de poro de los materiales de desecho, la relación de anisotropía, la ubicación del estanque y la permeabilidad de la cimentación. Esta investigación tiene como objetivo analizar e investigar la importancia relativa de los factores influyentes en la posición de la línea freática y, como resultado, la estabilidad de una de las estructuras más críticas, las presas de relaves aguas arriba, mediante el examen de su impacto individual en la línea freática. Para que los resultados se acerquen más a la realidad, se recopilaron las características de los materiales de desecho de diversas presas de

relaves y, finalmente, se utilizaron en el análisis las características de los materiales de desecho de la presa Zhaoli, ubicada en China. El método consiste en utilizar simulaciones numéricas mediante el método de elementos finitos

(FEM) para estudiar la línea freática, las cuales se han verificado con datos empíricos. Según el análisis, el efecto de diferentes factores en la posición de la línea freática es diferente; entre estos factores, la ubicación del lago, la succión métrica y la segregación tienen el efecto más significativo en la posición de la línea freática. También vale la pena mencionar que los fenómenos de consolidación y capilaridad son críticos y deben considerarse en el análisis de estabilidad de presas de relaves.

Carvajal (2018) en su investigación “Desarrollo de un procedimiento para el análisis de la estabilidad física de los depósitos de relaves”. El objetivo principal de este trabajo es dar a conocer un procedimiento para evaluar el nivel de estabilidad física de una represa de relaves chilena, en el marco del Programa Tranque, proyecto de CORFO orientado a generar tecnologías para monitorear en tiempo real a las represas de relaves. La finalidad primordial de este estudio es proponer un procedimiento que sea capaz de determinar la estabilidad física de las presas de relaves en Chile, mediante la monitorización en tiempo real de estas estructuras. presenta la propuesta metodológica para evaluar la estabilidad física de las presas de relaves (de ahí su nombre). Esta se fundamenta en el análisis de estándares, prácticas óptimas y experiencias internacionales (en especial la chilena), así como del entendimiento de cómo han evolucionado las fallas a nivel global y los mecanismos que las producen, además de los factores que explican su ocurrencia. Con todo esto, se tiene una base técnica que permite comprender el funcionamiento de estos elementos educativos y los riesgos a los que están expuestos. Una metodología estructurada en tres etapas sucesivas es utilizada para evaluar esto. La primera, se basa en evaluaciones cualitativas de las características físicas que se pueden observar, lo que posibilita realizar un primer diagnóstico. Si las circunstancias lo permiten, a continuación, se lleva a cabo un análisis minucioso de parámetros

importantes relacionados con los distintos mecanismos de falla (un análisis más exhaustivo), en el que se involucran específicamente los elementos que ponen en riesgo la estabilidad de la prensa. La etapa final implica la generación de un Índice de Estabilidad Física usando árboles de falla, lo que otorga una perspectiva más analítica y con cierto alcance predictivo. El objetivo de esta fase final es analizar cómo las alteraciones en las condiciones del sistema pueden influir en su estabilidad, lo cual puede ser una herramienta adicional al tomar decisiones.

Kumar y Viswanadham (2024) en el artículo científico publicado denominado: “Estudios sobre el desempeño de presas de relaves tipo retención de agua sometidas a llenado y carga inercial en una centrífuga geotécnica”. En esta investigación, se llevaron a cabo diversas pruebas utilizando modelos centrífugos para analizar la efectividad de las presas de relaves de retención de agua (WRT) en el lado aguas arriba con residuos finos y agua. Se empleó una configuración de prueba diseñada a medida para simular el llenado del yacimiento aguas arriba y la carga inercial en una instalación de centrífuga geotécnica de haz grande de 4,5 m de radio, disponible en el Instituto Indio de Tecnología de Bombay (India). Los modelos centrífugos se instrumentaron con transductores de presión de poro y desplazamiento para registrar la presión de agua intersticial (PWP) y el asentamiento superficial, respectivamente, y para garantizar la seguridad e integridad a largo plazo de la presa de relaves. Además, se utilizó una cámara digital a bordo para capturar las elevaciones frontales de los modelos centrífugos y realizar análisis de imágenes digitales (DIA) para deducir los movimientos del frente del talud, los asentamientos superficiales y los patrones de fallo. Los resultados demuestran eficazmente el rendimiento de la presa WRT, delinean la superficie de deslizamiento y el patrón de falla, y cuantifican el parámetro crítico de diseño relacionado con la carga inercial, que es el coeficiente sísmico horizontal (es decir, KHyieldy KHmax). A partir de los resultados observados in situ, se calcularon también las ecuaciones analíticas para las presas WRT a fin de cuantificar la estabilidad (en términos del factor de seguridad, FS) y la reacción ante

deformaciones. Los resultados analíticos obtenidos concuerdan razonablemente bien con el rendimiento de los modelos de presas de relaves WRT en la centrífuga geotécnica.

Antecedentes nacionales

Velásquez y Cabieses (2024) en su investigación titulada: "Evaluación de la estabilidad del talud del recrecimiento de un depósito de relaves en pulpa situado en Puno" en su estudio de suficiencia profesional teniendo como finalidad llevar a cabo la evaluación de la estabilidad del talud en el recrecimiento de un depósito de relaves en pulpa que se encuentra en Puno, con el objetivo de expandir su capacidad para almacenar. Con el programa Slide, se realizaron cálculos de los factores de seguridad, que son el indicador principal para el progreso en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Se llevó a cabo la investigación de acuerdo con las pautas mínimas de factor de seguridad que establece la Normativa Peruana E.050: Suelos y cimentaciones, lo cual permitió determinar los criterios esenciales para el diseño civil y geotécnico, así como sugerir diversas alternativas mediante modelos estáticos y pseudoestáticos en el programa Slide. El análisis tuvo en cuenta los factores geotécnicos de las estructuras situadas en la zona del proyecto, donde la ampliación del depósito se compone de relleno común comprimido, relave en pulpa, basamento de roca y suelo residual pizarroso. Asimismo, se incluyó en el análisis de estabilidad dos áreas importantes del depósito, llamadas Sección A y Sección B. Por lo tanto, se concluye que el diseño de recrecimiento mantiene la estabilidad con una pendiente de 1.25H:1V en la parte superior y 1.5H:1V en la parte inferior, respaldado por los mínimos factores de seguridad obtenidos: 1.90 bajo las condiciones estáticas y 1.42 bajo las pseudoestáticas. Asimismo, se logró incrementar la capacidad de almacenamiento en cerca de 98,260 m^3.

Aguirre (2017) defiende en la investigación titulada: "Valoración de la estabilidad física del depósito de relaves número 5 de la compañía Minera Titán del Perú S.R.L." El estudio tuvo como objetivo establecer cómo afectan a la estabilidad

física del depósito de relaves número 5, que pertenece a Minera Titán del Perú S.R.L., los cambios implementados en el diseño original de ingeniería, específicamente en términos del sistema para disponer los relaves y de las especificaciones de construcción. El depósito de relaves N° 5 fue concebido inicialmente para almacenar relaves semisecos durante, al menos, ocho meses antes de la deshidratación, y posteriormente ser trasladados y depositados. Sin embargo, este procedimiento generaba demoras en las operaciones y requería que la planta de beneficio se detuviera; por lo tanto, se decidió poner los relaves directamente en pulpa dentro del recipiente del depósito mencionado. Era indispensable realizar una evaluación de la estabilidad física del depósito de relaves N° 5, antes de realizar cualquier modificación a la disposición de los relaves. Para conseguirlo, fue indispensable determinar las propiedades geotécnicas de las unidades ubicadas en los cimientos del depósito mencionado, así como las características físicas y los componentes del dique y de los relaves que serán depositados en el vaso. Los capítulos pertinentes explican cómo se han empleado la teoría, los estudios de campo y las pruebas de laboratorio para analizar y diseñar esta propuesta. Esta tesis sostiene que para llevar a cabo la modificación en la ubicación de los relaves, es necesario implementar medidas de control que eviten que el agua llegue al talud situado río arriba del dique de contención. Así, será posible edificar una playa de relaves al lado del dique de contención. Asimismo, se proyecta la construcción de una berma estructural, que se situará al pie del talud (debajo del dique de contención) y que empleará material prestado. En consecuencia, estos cambios en el diseño podrían tener un efecto positivo sobre la estabilidad física del depósito de relaves número cinco. Los elementos de seguridad para la sección del depósito de relaves N° 5 que se ha examinado son favorables, lo cual confirma que su funcionamiento es seguro. Esto es el resultado de las condiciones proyectadas, que consideran las modificaciones hechas en la posición de los relaves y la edificación de una berma para contener. El presente estudio examina cómo la estabilidad física del depósito se ve afectada cuando el procedimiento de disposición

de relaves cambia de semiseco a directo en pulpa. Para determinar la estabilidad en las condiciones de operación actuales, se establecen las propiedades geotécnicas de los elementos del dique y de cimentación.

Avellaneda y Avellaneda (2020) en su artículo científico titulado: "Análisis de la estabilidad física del depósito integrado de relaves San Andrés (Perú)". La empresa de procesamiento de San Andrés, en La Libertad, Perú, emplea el método del eje central para guardar los relaves en dos estanques interconectados: un estanque es destinado a los relaves flotantes y el otro, a los de cianuración. El propósito de este análisis fue determinar la estabilidad física durante la fase operativa, con el fin de supervisar la cantidad y calidad de los relaves, mantener el nivel del agua por debajo del dique principal, conservar su altura y garantizar que el borde libre (distancia entre la cresta del dique y el nivel del agua) fuera de al menos dos metros. También se buscó identificar filtraciones o grietas anormales en el interior del dique, así como deformaciones o asentamientos. Se ha establecido que las dos presas de relaves son estables físicamente, en situaciones estáticas y pseudoestáticas, debido a que los resultados del cálculo del factor de seguridad superan los niveles mínimos requeridos por la normativa vigente.

Tasayco (2020) en su investigación titulada "Evaluación y tratamiento del relave en la planta concentradora de la compañía MACDESA - Arequipa 2020". El propósito de este estudio es aumentar la estabilidad física de los residuos minerales generados por las plantas que procesan minerales, los cuales extraen minerales de nuestros recursos naturales. Creo que piensa que algunas empresas de minería no toman este tema medioambiental con seriedad. Esto da lugar a un deficiente tratamiento de los residuos mineros, la licuefacción y el debilitamiento del muro de contención. Conectado con la polución de los ríos y el suelo. Asimismo, contamos con reglas y normas para promover un entorno sostenible en las PYMES, ya que esto genera conflictos sociales con los residentes locales. Este informe explica y aclara el procedimiento de evaluación de los desechos mineros en la planta MACDESA, que

procesa mineral. Es un deber social, académico y económico en la nación para estimular el desarrollo sostenible de Caraveli, una provincia de Arequipa, así como del área que abarca las operaciones mineras y los equipos de procesamiento del proyecto MACDESA. Método: Pruebas de campo exhaustivas. Con el fin de analizar los residuos mineros y su almacenamiento en la planta de procesamiento de MACDESA, el objetivo del estudio es determinar la relación entre estas variables y el volumen de residuos. A continuación, se muestran los resultados: Para garantizar que los residuos permanecieran estables en caso de futuros terremotos, utilicé ciclones de líquido y los bordes de los materiales de relleno para recoger los residuos aguas abajo.

Los objetivos de este estudio son evaluar la estabilidad física de la presa de relaves n.º 2, determinar los cambios de diseño necesarios, abordar la gestión de los relaves, recuperar el volumen de agua y establecer los requisitos de construcción. Resultados: Los relaves acumulados aguas abajo se unen con el margen norte del material excavado en caso de actividad sísmica. Se utiliza un ciclón líquido para garantizar la estabilidad de los relaves. En caso de terremoto, se recurre a material de relleno; se utiliza un ciclón de líquido para garantizar la estabilidad de los residuos mineros. «Los residuos mineros como factor estático y virtual de 1,71» es la teoría única que respalda la relación directa entre ambas variables en el estudio y la gestión de los residuos mineros.

2.2. Bases teóricas – científicas

Geotecnia de depósitos de relaves

Un depósito de relaves es una estructura de ingeniería que confina los desechos pulverizados (relaves) generados después del procesamiento metalúrgico del mineral. Estos relaves suelen transportarse como una pulpa (mezcla de sólidos y agua) y se depositan en una cuenca de almacenamiento contenida por diques (también conocidos como presas de relaves) (Morgenstern, 2012). La geotecnia juega un rol central debido a la naturaleza heterogénea y saturada de los relaves, y la interacción compleja entre el dique, el suelo de cimentación y el material depositado.

Los requerimientos básicos para llevar a cabo estudios de mecánica de suelos, entre los que se incluyen la caracterización geotécnica del lugar y la determinación de parámetros para el diseño de cimentaciones y estructuras de contención (por ejemplo, diques de relaves), están definidos en la Norma Técnica Peruana E.050 Suelos y Cimentaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Caracterización geotécnica de suelos y relaves

La caracterización geotécnica es el primer paso esencial de cualquier análisis de estabilidad. Implica el reconocimiento y la determinación de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de los materiales que se encuentran en el sitio.

En el campo de la geotecnia, el suelo es visto como un material natural no consolidado que contiene agua, aire, partículas orgánicas y partículas minerales. Su conducta mecánica se define por su estructura, la granulometría y las condiciones de esfuerzo. Los relaves mineros, por su parte, son los restos que quedan tras el tratamiento de minerales. Suelen estar dispuestos en forma de pulpa y muestran un comportamiento geotécnico parecido al de los suelos finos, aunque con características propias relacionadas con su origen, composición mineralógica y proceso de deposición.

Los relaves son considerados como materiales geotécnicos artificiales desde la perspectiva científica. El comportamiento mecánico de estos depende de su densidad, presión de poros, grado de saturación y método de disposición; todos estos elementos tienen un impacto directo en la estabilidad física de los relaves.

Propiedades de los suelos de cimentación

El suelo o la roca sobre la que se asienta el dique principal es la base de su estabilidad. Es fundamental determinar (Das, 2016):

Propiedades de los índices:

La granulometría (análisis de hidrómetro y tamices), el índice de plasticidad, el límite líquido, el límite plástico, la densidad específica de los sólidos y la humedad natural. Con estas propiedades, se puede prever el comportamiento general y

clasificar el suelo (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS). Propiedades mecánicas:

Resistencia al corte (φ, c): La cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (φ) son los elementos fundamentales para el análisis de la estabilidad. Se obtienen a través de experimentos en laboratorio, como el triaxial y el de corte directo (triaxial no drenada UU, triaxial consolidada no drenada CU y triaxial consolidada drenada CD).

Compresibilidad: Los ensayos unidimensionales de consolidación (oedómetro) determinan la habilidad del terreno para deformarse al aplicar carga. Estos ensayos proporcionan dos índices: el índice de compresión (Cc) y el índice de expansión (Cs).

Propiedades hidráulicas:

Permeabilidad (k): La facilidad con la que el agua fluye a través del suelo, determinada por ensayos de permeabilidad en campo (prueba de bombeo) y laboratorio (permeámetro de carga constante o variable). La permeabilidad es crucial para el análisis de flujo de agua y presiones de poro (Coduto et al., 2016).

Propiedades de los relaves en pulpa

Los relaves, al ser un material de ingeniería, poseen propiedades particulares que evolucionan con el tiempo y la consolidación (Robertson, 2010). Es esencial caracterizar:

Distribución granulométrica: La proporción de arenas, limos y arcillas en los relaves influye en su drenaje y resistencia.

Límites de atterberg: Para la fracción fina, determinan la plasticidad y el potencial de licuación.

Densidad y contenido de humedad: Tanto en la fase de pulpa como después de la deposición y consolidación.

Resistencia al corte: Depende fuertemente de la densidad, el grado de consolidación y la saturación. Puede ser muy baja en estado no consolidado o licuable.

Potencial de licuación: La susceptibilidad de los relaves a perder su resistencia

al corte bajo cargas cíclicas (como sismos), transformándose en un fluido. La evaluación de licuación se basa en la densidad relativa, el contenido de finos y la historia de esfuerzos (Seed & Idriss, 1970; Robertson, 2010).

Teorías y métodos para el análisis de estabilidad física

El análisis de la estabilidad física de un dique de relaves tiene como finalidad calcular el factor de seguridad de sus taludes frente a la falla por corte bajo diferentes condiciones de carga.

Teoría de la resistencia al corte de Mohr-Coulomb

Esta teoría es la base para estimar la resistencia al corte de los residuos y del terreno. La resistencia al corte (τ) en un plano de falla depende tanto del esfuerzo normal efectivo (σ') que actúa sobre dicho plano, como de la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (φ); se expresa así $\tau = c + \sigma' \tan(\varphi)$ (Terzaghi et al., 1996). Se usan parámetros efectivos (c', φ') y esfuerzos efectivos (σ') para el análisis drenado de suelos saturados y relaves, mientras que para el análisis no drenado rápido se aplican esfuerzos totales y parámetros totales (cu, φu).

Métodos de análisis de estabilidad de taludes

La meta es determinar el factor de seguridad (FS), que se define como la relación entre la resistencia a la cortadura del suelo y el esfuerzo cortante necesario para conservar el equilibrio. Según Das (2016) y NTP E.050 (2018), un FS mayor a 1.0 señala estabilidad, con valores de diseño que generalmente oscilan entre

1.3 y 1.5 bajo condiciones estáticas, y más bajos (por ejemplo, 1.1) en situaciones sísmicas.

Los métodos más frecuentes son:

Métodos de equilibrio límite:

Método de las rebanadas (Fellenius, Bishop Simplificado, Spencer, Morgenstern-Price): Dividen la masa de suelo que podría fallar en secciones verticales y utilizan ecuaciones de equilibrio estático. Debido a su adecuado equilibrio entre complejidad y precisión, los procedimientos de Spencer y Bishop son muy empleados

(Morgenstern, 2012).

Método de Coulomb (para cuñas): Aplicable a superficies de falla planas.

Métodos numéricos (Diferencias finitas, Elementos finitos): Sin suponer una superficie de falla predefinida, posibilitan un examen más minucioso de la manera en que se distribuyen las deformaciones y los esfuerzos al interior del macizo de suelo. Son beneficiosos para el análisis combinado de deformación y flujo, la conducta no lineal del suelo y las geometrías complejas.

Análisis de estabilidad bajo carga sísmica

Dada la sismicidad del Perú (Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente, 2018), el análisis sísmico es crítico.

Método pseudoestático: Aplica una fuerza sísmica horizontal constante (coeficiente sísmico) a la masa de suelo para simular los efectos de un sismo. Este método es simple pero conservador. Análisis dinámico: Utiliza registros de aceleraciones sísmicas reales o sintéticas para simular la respuesta del dique y los relaves en el tiempo. Puede combinarse con análisis de licuación.

Análisis de licuación: Determina la susceptibilidad de los relaves a licuarse bajo carga sísmica, lo cual puede llevar a una pérdida catastrófica de resistencia (Seed & Idriss, 1970; Robertson, 2010).

Consideraciones adicionales en el diseño y estabilidad

Hidrología e hidráulica: El control del agua (precipitaciones, infiltración, nivel freático) dentro y alrededor del depósito es crucial para la estabilidad. Un mal manejo puede llevar a la saturación de los materiales y la generación de presiones de poro excesivas.

Asentamientos: La compresión y consolidación de los relaves y el suelo de cimentación causan asentamientos que deben ser monitoreados y controlados.

Monitoreo geotécnico: La instrumentación del depósito (piezómetros, inclinómetros, medidores de asentamiento) permite verificar el comportamiento real de la estructura y compararlo con las predicciones del diseño, alertando sobre cualquier

anomalía (Vick, 1990).

Vínculo entre la evaluación geotécnica y el análisis de estabilidad

El análisis de estabilidad y la evaluación geotécnica tienen una relación simbiótica y esencial. Los datos de entrada más importantes para analizar la estabilidad son los resultados de la investigación geotécnica, en particular el peso unitario (γ), los parámetros de resistencia al corte (c y ϕ) y las condiciones de presión de poros (Duncan & Wright, 2005). La exactitud y fiabilidad del Factor de Seguridad calculado están directamente vinculadas con la calidad y representatividad de los datos geotécnicos adquiridos. Si la evaluación geotécnica es inadecuada, puede llevar a un análisis de estabilidad equivocado, lo cual podría poner en riesgo la seguridad de toda la infraestructura. En consecuencia, para cualquier evaluación de estabilidad confiable es fundamental realizar un análisis geotécnico minucioso y estricto.

2.3. Definición de términos básicos

Análisis de estabilidad física: Proceso de ingeniería geotécnica que establece la capacidad de una masa de suelo o roca (talud, por ejemplo) para soportar las fuerzas que pueden generar su movimiento o falla. Supone calcular un factor de seguridad (FS), que es la relación existente entre la resistencia a cortarse del material y el esfuerzo cortante generado por las cargas (Das, 2016).

Este análisis tiene en cuenta varias condiciones de carga, tanto sísmicas como estáticas.

Asentamiento: Alteración vertical hacia abajo de una estructura o masa de suelo a causa del uso de cargas. En los depósitos de relaves, los asentamientos pueden ser inmediatos (elásticos), por consolidación primaria (debido a la expulsión del agua de los poros en suelos cohesivos) o por consolidación secundaria (también conocida como fluencia o creep) (Terzaghi et al., 1996). Los asentamientos diferenciales o excesivos pueden comprometer la funcionalidad del depósito y la integridad estructural del dique.

Capacidad portante: Es la presión media más alta que el terreno de cimentación es capaz de aguantar sin experimentar asentamientos desmesurados

que pongan en riesgo la operación del edificio o fallos por cizallamiento. La capacidad portante permitida es el resultado de la máxima capacidad de carga disminuida por un apropiado factor de seguridad (Das, 2016; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Cimentación del dique: Se refiere a la tierra o la estructura rocosa que sostiene directamente el dique principal del depósito de relaves. Como sus características (compresibilidad, resistencia, permeabilidad) regulan directamente la estabilidad y el funcionamiento del dique (Morgenstern, 2012), resulta fundamental la caracterización geotécnica de esta área.

Depósito de relaves en pulpa: Estructura de ingeniería diseñada para almacenar los desechos sólidos finamente molidos (relaves) que quedan después del procesamiento del mineral, mezclados con agua para formar una pulpa. Generalmente, consiste en un vaso (la cuenca de almacenamiento) y una o más estructuras de contención o diques (presas de relaves) (Vick, 1990). Los relaves suelen depositarse hidráulicamente en forma de pulpa.

Dique principal: Componente esencial de un depósito de relaves, es la estructura de contención (presa) que retiene el volumen principal de relaves y el agua del embalse. Su diseño y estabilidad son críticos, ya que una falla podría liberar grandes volúmenes de material, con graves consecuencias ambientales y socioeconómicas (Morgenstern, 2012). Puede construirse utilizando diversos métodos, como upstream, downstream o línea central.

Estabilidad de taludes: Campo de estudio de la mecánica de suelos y rocas que examina la estabilidad de las masas terrestres, ya sean naturales o artificiales, con una superficie en pendiente. El estudio tiene como objetivo establecer el factor de seguridad para prevenir que una masa de suelo se deslice a lo largo de una superficie que podría fallar. Se aplica a las pendientes de los diques y a las masas de relaves que están contenidas en el marco de un depósito de relaves (Das, 2016).

Evaluación geotécnica: Método sistemático para analizar el subsuelo, que abarca la exploración en campo (sondeos, calicatas, ensayos in situ), la recolección de muestras de tierra y rocas, los análisis realizados en laboratorio (como la permeabilidad, la compresibilidad, la resistencia y las propiedades índice) y el examen

de los datos. El objetivo es determinar las propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas de los materiales geotécnicos con la finalidad de utilizarlos para el diseño e investigación en ingeniería

(Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Factor de seguridad (FS): Relación numérica entre la resistencia disponible de un material o estructura y el esfuerzo o carga que realmente actúa sobre él. En el análisis de estabilidad de taludes, se calcula como la relación entre la resistencia al corte total disponible en una superficie de falla potencial y el esfuerzo cortante movilizado a lo largo de esa superficie. Un FS mayor que

1.0 indica que el material es estable; cuanto mayor sea el valor, mayor será el margen de seguridad (Das, 2016).

Licuación de suelos: Fenómeno en el que un suelo granular saturado pierde una porción significativa o la totalidad de su resistencia al corte y su rigidez bajo cargas cíclicas rápidas (como las inducidas por un sismo), comportándose temporalmente como un líquido pesado. Los relaves finos y saturados son particularmente susceptibles a la licuación, lo que puede provocar fallas catastróficas en los diques (Seed & Idriss, 1970; Robertson, 2010).

Nivel freático: Superficie dentro del suelo donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica. Por debajo del nivel freático, el suelo se considera saturado (es decir, todos los poros están llenos de agua). La posición y variación del nivel freático influyen directamente en los esfuerzos efectivos del suelo y, por lo tanto, en su resistencia y estabilidad (Coduto et al., 2016).

Relaves en pulpa: Material residual finamente molido resultante del proceso de concentración de minerales, suspendido en agua. Los relaves se transportan y depositan en esta forma, lo que implica que el depósito debe manejar tanto la fase sólida como la fase líquida del desecho (Vick, 1990). La proporción de sólidos y agua (densidad de la pulpa) es una característica

importante.

Vaso del depósito de relaves: Se refiere al área dentro de la cual se acumulan los relaves, limitada por el dique principal y, a menudo, por la topografía natural del terreno. La estabilidad del vaso interno, incluida la capacidad de los relaves para no

fluir sin control o licuarse, es tan crítica como la estabilidad del dique de contención (Morgenstern, 2012).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La evaluación geotécnica del vaso del depósito de relaves en Pulpa Ramos Balcón de la Minera SUNEC permite un análisis preciso de su estabilidad física, lo cual es fundamental para asegurar su operación segura.

2.4.2. Hipótesis específicas

a) La determinación de las características geotécnicas del vaso del depósito de relaves en Pulpa Ramos Balcón de la Minera SUNEC contribuye a un análisis riguroso de su estabilidad física, contribuyendo así a asegurar su operación segura.

b) La estabilidad global del vaso del depósito de relaves en Pulpa Ramos Balcón de la minera SUNEC frente a posibles fallas por licuación o deslizamientos internos contribuye al análisis de su estabilidad física, asegurando así su operación segura de la minera SUNEC.

2.5. Identificación de variables

Se identificaron las siguientes variables:

Variable Independiente

La evaluación geotécnica del vaso del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón

Variable dependiente

Estabilidad física del depósito de relaves.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

En la tabla 1 se muestra la operacionalización de variables e indicadores de la investigación

Tabla 1. *Operacionalización de variables e indicadores*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Variable independiente: Evaluación geotécnica del vaso del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón	Las propiedades mecánicas, hidráulicas y físicas de los residuos y del suelo sobre el que se construirá la presa se analizan, miden e investigan como parte de la evaluación geotécnica de la presa de residuos de pulpa de Ramos Balcón. Su objetivo es comprender su comportamiento geomecánico y ofrecer información fiable para evaluar la estabilidad física de la presa. Se trata de la «acción» o «aportación» principal de su investigación. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018)	La evaluación geotécnica del estanque de residuos de pulpa de Ramos Balcón incluye tanto ensayos de laboratorio como investigaciones de campo. Entre los parámetros geotécnicos cuantificables que pueden determinarse como resultado de esta evaluación se encuentran el ángulo de fricción interna, la cohesión, la presión intersticial, la permeabilidad, la densidad y los límites de consistencia. La estabilidad física del estanque se analiza utilizando estos parámetros como datos preliminares.	Características físicas	Granulometría Límites de Atterberg Contenido de humedad Densidad	Registro de estructuras y características geotécnicas Ensayo granulométrico Ensayos de Atterberg Ensayo de humedad Ensayo de densidad Equipos de laboratorio estandarizados Registro de Monitoreo
			Características hidráulicas	Permeabilidad Presión de poros	Ensayo de permeabilidad Piezómetros / análisis hidro geotécnico
			Características mecánicas	Cohesión (c) Ángulo de fricción interna (φ)	Ensayo de corte directo Ensayo triaxial
				Resistencia al corte	
			Condición geotécnica del vaso	Estado de saturación Tipo de material	Observación y registro de campo Clasificación SUCS
Variable dependiente: Estabilidad Física del Depósito de Relaves	Alude a la condición de equilibrio del dique principal y del depósito de relaves bajo las cargas impuestas (peso propio, relaves, sismos, etcétera). Es el "resultado" que se intenta examinar y que está influenciado por la evaluación geotécnica. (Das, 2016).	Alude al grado de resistencia y seguridad del vaso del Depósito de Relaves en Pulpa frente a posibles fallas debidas a cortes, deformaciones excesivas o reducción de la capacidad de soporte, en diversas situaciones de carga y operación.	Estabilidad Global del Vaso	Resultados de Factor de seguridad	Software de Análisis Geotécnico Slope/w 2022.1 de Geostudio.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, tecnológica y evaluativa, estructurada bajo un enfoque cuantitativo.

Aplicada y tecnológica: Según Murillo (2008) la investigación aplicada tiene como fin resolver problemas concretos y cambiar situaciones reales a partir de la utilización de conocimientos científicos previos. Con el fin de abordar un tema trascendental y prioritario de seguridad minera: asegurar la estabilidad física del depósito de relaves Ramos Balcón, el análisis utiliza los firmes postulados de la mecánica de suelos, la geomecánica de rocas y las teorías de estabilidad de taludes. También se considera tecnológica, porque se apoya en las normativas técnicas actuales y en los programas informáticos especiales para el tratamiento de los datos de ingeniería.

Evaluativa: Además, la investigación es completamente evaluativa porque su objetivo principal es determinar y evaluar la seguridad de la estructura mediante una comparación directa entre los resultados numéricos obtenidos y las normas legales establecidas. En particular, se analizarán y compararán con los requisitos mínimos permisibles establecidos por la legislación minera en Perú vigente, los Factores de

Seguridad (FS) del depósito Ramos Balcón, obtenidos en condiciones pseudo-estáticas y estáticas. Así, la investigación actúa como un control técnico-legal para la calidad indispensable para la toma de decisiones y para la prevención de riesgos ambientales.

3.2. Nivel de investigación

La investigación se desarrolla en un nivel descriptivo y explicativo:

- **Nivel Descriptivo:** Debido a que requiere la caracterización de las propiedades mecánicas, hidráulicas y físicas del terreno de la fundación, el afloramiento rocoso y la conducta del relave en pulpa. Consiste en registrar, medir y describir de forma sistemática variables como la cohesión, el ángulo de fricción, la densidad y la permeabilidad sin modificar las condiciones del medio ambiente.
- **Nivel Explicativo:** Una descripción de los fenómenos al investigar la fuente del comportamiento estructural. Desarrolla una relación de causalidad directa en donde las características geotécnicas intrínsecas del vaso del depósito y las solicitaciones externas (saturación por lluvias y aceleración sísmica) sean la variable independiente (la causa), y la presión de los poros, el factor de seguridad de la estructura y la respuesta cinemática sean la variable dependiente (el efecto).

3.3. Métodos de investigación

Se utiliza el método científico analítico-sintético:

- Analítico: Se descompone la unidad del depósito de relaves en sus partes constitutivas (relave, suelo de fundación, interfaz de contacto) para medir parámetros de resistencia y permeabilidad.
- Sintético: Para conseguir un resultado general de estabilidad, estos datos se incorporan a un modelo matemático de equilibrio límite mediante un software especializado. Este método posibilita una valoración diagnóstica y un desenlace técnico fundamentado en la lógica deducción de los datos procesados.

3.4. Diseño de investigación

El diseño es No Experimental, de corte Transversal y Correlacional-Causal.

Es no experimental porque las condiciones del terreno se observan en su estado natural. Es correlacional-causal porque busca determinar cómo la variación de las variables independientes (propiedades del suelo/relave) incide directamente en la variable dependiente (Estabilidad Física).

El esquema de diseño propuesto para una evaluación técnica es:

$$M \longrightarrow (O1, O2) \longrightarrow R$$

Donde:

- M: Muestra (Vaso del depósito de relaves Ramos Balcón).
- O1: Observación y medición de variables geotécnicas (parámetros de resistencia, humedad, etc.).
- O2: Evaluación de la estabilidad física mediante modelamiento (análisis estático y pseudo-estático).
- R: Resultado o propuesta de validación de la estabilidad frente a los factores de seguridad normativos.

3.5. Población y muestra

Población

La población de estudio está definida por el entorno geológico y geotécnico que comprende los 87,278 m² del área de influencia directa del Depósito de Relaves Ramos Balcón. Esta población abarca la totalidad de las unidades geomecánicas (suelos de fundación y roca basal) y el material de relave depositado, los cuales interactúan físicamente con la estructura de contención.

Muestra

La muestra es de tipo no probabilística, dirigida y por criterios técnicos, enfocada en un área crítica de 12,046.32 m². En dicha área se realizó 11 Calicatas y 9 Sondajes a espaciamientos variables de acuerdos a criterios de investigación, tales como Variabilidad Litoestratigráfica y la estabilidad de las calicatas.

Estos datos permitirán caracterizar los materiales del depósito y realizar el

análisis de estabilidad.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se emplearon las técnicas que se detallan a continuación en la investigación actual.

Revisión de documentos:

Se basa en la identificación de investigaciones anteriores relacionadas con perforación diamantina y propiedades geotécnicas.

Observación de campo:

Implica el análisis minucioso y directo de los rasgos geotécnicos, tanto superficiales como subterráneos.

Exploración Geotécnica Directa:

Consiste en la ejecución de sondeos diamantinos y calicatas para la identificación de las unidades litoestratigráficas del vaso.

Muestreo Selectivo:

Técnica de extracción de muestras alteradas e inalteradas (tubos Shelby o bloques) para garantizar la representatividad de los parámetros de resistencia en el modelo.

Ensayos In Situ:

Para definir cómo se comporta el vaso desde el punto de vista hidráulico, son fundamentales las pruebas de penetración (CPT/SPT) y los ensayos de permeabilidad (Lefranc o Lugeon).

Monitoreo Hidrogeológico:

Técnica de registro de presiones de poros y niveles freáticos mediante instrumentación específica, esencial para la sostenibilidad y seguridad del depósito.

Ensayos de laboratorio:

Realización de pruebas controladas en muestras de suelo y relaves para determinar sus propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas.

Los instrumentos a utilizar son:

Plano geológico regional.

Tablas de clasificación de suelos

Ficha de recolección de datos geotécnicos: Será el instrumento principal para registrar sistemáticamente toda la información obtenida durante la exploración de campo, muestreo, ensayos in situ y monitoreo (ej. registros de sondeo, descripción de calicatas, coordenadas, niveles freáticos, datos de piezómetros)

Equipos de campo: GPS de alta precisión, cinta métrica, martillo geológico

Equipos de Laboratorio Geotécnico: Máquina de Corte Directo, Cámara Triaxial (CD/CU) y consolidómetro, instrumentos que generan los "inputs" mecánicos para el software.

Software de Estabilidad de Taludes (Slope/w 2022.1 de Geostudio): Instrumento principal de cálculo donde se integran todos los datos de campo para predecir el Factor de Seguridad (FS).

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para transformar los datos primarios en resultados con capacidad predictiva, se seguirá un protocolo de análisis estructurado en cinco fases:

Sistematización y Validación de Información: Los datos obtenidos en campo (perfiles de perforación, registros de piezómetros) y laboratorio se codificarán en una base de datos geoespacial. Se aplicarán filtros de validación de consistencia técnica para identificar valores atípicos en los parámetros de resistencia, asegurando que la información de entrada para el modelo sea estadísticamente representativa del vaso del depósito.

Valor de Parámetros de Ingeniería Geotécnica: Para determinar las unidades geomecánicas, se llevará a cabo el procesamiento de los resultados experimentales. Se calcularán los parámetros esenciales para la estabilidad:

Resistencia al corte: Ángulo de fricción interna y cohesión eficaz conseguidos a través de pruebas triaxiales.

Parámetros Hidráulicos: Coeficiente de permeabilidad (k) y presiones de

poros iniciales.

Parámetros Dinámicos: Módulo de rigidez y coeficientes sísmicos para el análisis pseudo-estático en la zona de Oxapampa.

Modelamiento Geométrico y Estratigráfico: Utilizando software CAD y el módulo de geometría de Slope/w 2022.1 de Geostudio, se construirá un modelo bidimensional representativo de las secciones críticas del depósito Ramos Balcón. Este modelo integrará la topografía real del vaso, la estratigrafía del suelo de fundación, el cuerpo de los relaves en pulpa y la ubicación exacta de la instrumentación (piezómetros).

Análisis de Estabilidad Física (Simulación Numérica): Se ejecutará el procesamiento de datos mediante el método de Equilibrio Límite (LEM), utilizando el software Slope/w 2022.1 de Geostudio. El análisis no será descriptivo, sino evaluativo-predictivo bajo los siguientes criterios:

Algoritmos de Cálculo: Se emplearán los métodos de Morgenstern-Price y Spencer, debido a que satisfacen todas las condiciones de equilibrio (fuerzas y momentos).

Búsqueda de Superficie Crítica: Se aplicarán métodos de optimización para localizar la superficie de falla con el Factor de Seguridad (FS) mínimo global.

Escenarios de Evaluación: Se simularán condiciones estáticas (operación normal) y pseudo-estáticas (evento sísmico de diseño), considerando la influencia del nivel freático monitoreado.

Análisis de Sensibilidad y Predicción de Seguridad: Para garantizar la sostenibilidad de la estructura al 2025, se realizará un análisis de sensibilidad. Esto permitirá predecir cómo afectan las variaciones climáticas (saturación derelaves) y sísmicas de Pasco al Factor de Seguridad, estableciendo los umbrales de alerta temprana basados en las lecturas de los piezómetros.

3.8. Tratamiento estadístico

La metodología de análisis de confiabilidad y variabilidad de parámetros,

orientada hacia la modelación numérica, superará el tratamiento convencional de datos por medio de la estadística descriptiva.

Análisis de Variabilidad y Selección de Valores de Diseño: Para cada unidad geomecánica identificada en el vaso del depósito, se aplicará:

Medidas de Tendencia Central y Dispersión: Se calculará la media aritmética, mediana y desviación estándar de los parámetros de resistencia y propiedades físicas (Límites de Atterberg, N-SPT).

Análisis de Correlación y Validación de Datos: Se empleará para validar la relación entre diferentes ensayos. Esto asegura la consistencia interna de los datos antes de introducirlos al software de cálculo.

Análisis de Sensibilidad: Como parte del tratamiento estadístico orientado a la sostenibilidad, se evaluará la variabilidad del Factor de Seguridad (FS) en función de la fluctuación de los parámetros críticos. Esto permitirá establecer el grado de influencia de cada variable estadística en la estabilidad física de la estructura para el año 2025.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación se llevó a cabo con la máxima objetividad, sin sesgos ni influencias externas que comprometan los resultados. Los datos deben ser recolectados, procesados y analizados con rigor científico y técnico, utilizando metodologías estandarizadas y reconocidas en ingeniería geotécnica (ASTM, ISO, normas nacionales como la NTP E.050).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó en la zona de investigación, ubicada en el territorio donde se llevan a cabo las operaciones mineras. Allí, se examinó la estabilidad física del vaso de almacenamiento y del dique. Se realizaron actividades de campo con el fin de recopilar información hidrogeológica, geotécnica y topográfica que permitiera caracterizar los materiales del depósito e identificar su comportamiento estructural bajo diferentes condiciones de carga.

Inicialmente, se realizó reconocimientos visuales y levantamientos topográficos para definir la geometría del dique, las cotas de coronación, los taludes y el área total del vaso. Se efectuó la verificación de las condiciones geométricas del depósito, registrándose irregularidades en los taludes, la presencia de bermas incompletas y zonas con evidencias de humedad superficial. A continuación, se procedió a la ejecución de perforaciones diamantinas y calicatas para obtener muestras representativas de los materiales de fundación, del relleno estructural y de los relaves almacenados, las cuales fueron enviadas al laboratorio para la determinación de propiedades físicas y mecánicas.

Durante el trabajo de campo, se desarrollaron ensayos in situ como la

determinación del contenido de humedad, densidad in situ, y pruebas de penetración estándar (SPT) para identificar la resistencia del subsuelo y la estratigrafía del depósito. Se complementó la información con la instalación de instrumentación geotécnica, que incluyó piezómetros (PZ-1) para el monitoreo de presiones de poro, un inclinómetro (IN-1) para el control de desplazamientos laterales y hitos topográficos de control (HT-1 y HT-2) para la medición de movimientos superficiales del dique.

Asimismo, se realizaron ensayos de laboratorio a las muestras adquiridas, incluyendo corte directo, triaxial consolidado-no drenado, Proctor Modificado, granulometría y límites de Atterberg. Se realizó esto con el propósito de establecer los parámetros de la cohesión, el ángulo de fricción y el peso unitario de los diversos componentes del depósito. Se definieron los parámetros de entrada para examinar la estabilidad mediante el método de equilibrio límite utilizando estos datos.

Por último, se realizó la supervisión técnica de la compactación del relleno estructural y el sistema de drenaje, con el fin de comprobar que las especificaciones de diseño se han cumplido y que las obras geotécnicas se han ejecutado con calidad. La observación de campo posibilitó la detección de áreas problemáticas que tienen el potencial de acumular agua, sufrir filtraciones y erosión en la superficie; estos elementos se tomaron en cuenta para interpretar los resultados finales.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

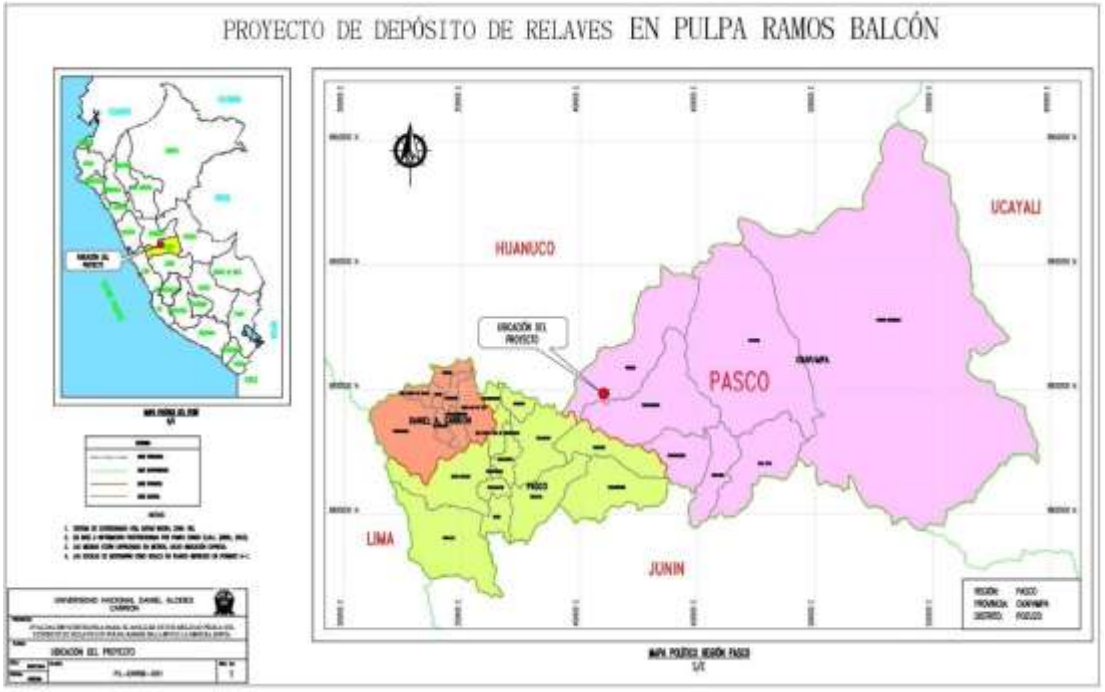
Ubicación

El sector de investigación se localiza en el distrito Huancabamba, la provincia Oxapampa y el departamento Pasco, en la cuadrícula:

- 8’848,579 N; 410,174 E a 8’848,579 N; 410,463 E
- 8’848,277 N; 410,463 E a 8’848,277 N; 410,174 E.

Tal como se observa en la Figura 1 y Figura 3.

Figura 1. *Ubicación y Localización de la Presa de Relaves en pulpa Ramos Balcón.*



Condiciones generales del área de investigación

Sismicidad. Se han establecido diversas zonas sísmicas en el territorio peruano, las cuales presentan diferentes características dependiendo de la frecuencia más alta o más baja de sismos. Según el mapa de zonificación que la norma de Diseño Sismorresistente E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones muestra (consulte la Figura 2), la zona 2 comprende el área bajo análisis, lo que significa una sismicidad intermedia. Según los datos históricos de sismos que Silgado recopiló en 1978, en la zona cercana al proyecto se han registrado temblores con una intensidad máxima de VI en la escala de Mercalli Modificada. La evaluación del riesgo sísmico se llevó a cabo utilizando métodos determinísticos y probabilísticos. Para el Sismo Máximo Creíble (SMC), se aplicaron métodos determinísticos para fijar las aceleraciones espectrales y los niveles de aceleración máxima del movimiento sísmico del terreno (PGA, en inglés). En cambio, para el Sismo Base de Operación, que tiene un período de retorno de 475 años (SBO), se emplearon técnicas probabilísticas. Los resultados de la investigación sobre el peligro sísmico: se presentan las aceleraciones anticipadas en múltiplos de la aceleración gravitacional (g=9.81 m/s²), el tiempo de exposición de las

estructuras y la posibilidad de que el área estudiada sea superada.

Tabla 2. *Resumen de Aceleraciones Sísmicas y Periodos de Retorno*

Período de Retorno (años)	Aceleración Sísmica (*g*)
100	0,168
250	0,244
475	0,309
1000	0,397
2475	0,531
5000	0,651

Fuente: Los parámetros sísmicos (aceleraciones y periodos de retorno) empleados para el análisis pseudo-estático fueron obtenidos del Estudio de Peligro Sísmico de Sitio elaborado por GEORYS para la unidad minera, bajo los lineamientos del IGP y la norma E.030, considerando las aceleraciones máximas esperadas para la zona sísmica

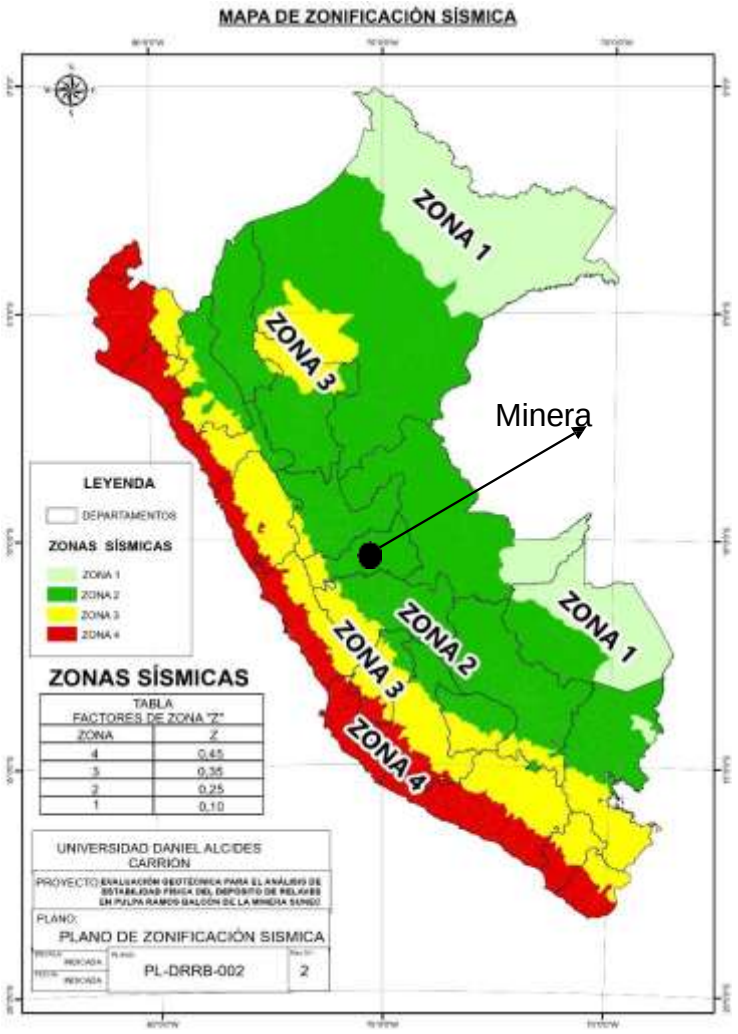
Coeficiente Sísmico

La bibliografía técnica internacionalmente reconocida recomienda que, al analizar la condición pseudoestática en el diseño de taludes, el coeficiente sísmico sea fijado como un porcentaje que va desde 1/3 hasta 1/2 del valor máximo calculado de aceleración. Esta propuesta concuerda con la sugerencia de la Administración Federal de Carreteras (1997), las recomendaciones del Cuerpo de ingenieros del ejército estadounidense (Hynes y Franklin, 1984) y las propuestas del U.S. Army Corps of Engineers, que abogan por emplear un coeficiente sísmico que sea el 50% de la aceleración pico de diseño.

La aceleración máxima en el área del proyecto es de 0,309g. para un intervalo de retorno de 475 años. Se prevé emplear un coeficiente sísmico de 0.155, que corresponde al 50% de la aceleración máxima del terreno (PGA), para el estudio de la

estabilidad en una situación pseudoestática.

Figura 2. *Mapa de Zonificación Sismica (RNE, 2025)*



Hidrología. La finalidad del estudio hidrológico que se empleó en el presente trabajo fue establecer las propiedades y los parámetros físicos e hidrológicos de la zona de investigación.

Clima. La Tabla 3 muestra que la zona de estudio y sus subcuencas involucradas se encuentran enmarcadas dentro de dos (02) áreas climáticas, según la clasificación climática hecha por el SENAMHI y expuesta en su Mapa Climático del Perú (2010).

Tabla 3. *Descripción de las Zonas de la Clasificación Climática de Thornthwaite*

Símbolo	**Descripción de Zona Climática**	**Estación Climática**
B(I) D' H3	Zona de clima semifrígido, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno con humedad relativa calificada como húmeda.	Cerro de Pasco
B(o,I) C' H3	Zona de clima frío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.	-

Fuente: Climas del Perú: Mapa de Clasificación Climática (Actualización 2025) - SENAMHI.

Temperatura. Para determinar la temperatura en el área bajo estudio, se han analizado los datos obtenidos a nivel regional, utilizando información anual de cuatro estaciones meteorológicas.

Tabla 4. *Temperatura media a lo largo del año en cada estación.*

Estación	**Temperatura (°C/año)**
Cerro de Pasco	5,89
Oxapampa	18,57
Pozuzo	24,4
San Rafael	15,2

Fuente: Boletín Climático Mensual de la Dirección Zonal 11 (Pasco – Huánuco) – SENAMHI.

Se realizó la estimación de datos faltantes para el parámetro de temperatura mensual, completando y proyectando un registro de 57 años (1964-2021), los cuales fueron representados espacial y mensualmente en el área de estudio gracias a las isotermas obtenidas del tratamiento de datos obteniéndose como temperatura máxima a 17.6°C en el mes de marzo y una temperatura mínima de 14.4°C en el mes de julio.

Precipitación Máxima en 24 horas

El análisis de precipitación máxima se basa en el concepto de periodo de retorno, el cual sugiere que la temporalidad y periodicidad de eventos extremos puede ser relacionado a una determinada distribución probabilística. Para ello es necesario trabajar con información de precipitación máxima registrada durante 24 horas, la cual resulta ser la precipitación total diaria.

Los datos de precipitación máxima diaria de cuatro estaciones meteorológicas se han empleado en este estudio: Oxapampa, Cerro de Pasco, Pozuzo y San Rafael. Sin embargo, en el estudio inicial solo se incluye la estación Cerro de Pasco, dado que compartir la misma zona climática con los componentes del proyecto permite obtener resultados más adecuados. Cabe destacar que esta estación está ubicada a 56,72 km del área de trabajo. La Tabla 5 muestra la cantidad máxima de lluvia en un periodo de 24 horas para diferentes plazos de retorno.

Tabla 5. *Cantidad máxima de lluvia en un periodo de 24 horas*

Precipitación Máxima en 24 horas para diferentes Periodos de Retorno **Período de Retorno (años)**	**Precipitación Máxima 24 hrs** **Estación Cerro de Pasco (mm)**
2	31.2
5	38.4
10	48.6
20	54.2
25	57.1
50	65.4
100	74.1
200	83.8
500	98.2
1000	112.5

Fuente: SENAMHI (2024) Estudio de Caracterización Pluviométrica. Subdirección de Predicción Hidrológica.

Evapotranspiración Potencial (ETP)

La evapotranspiración potencial mensual se determinó de manera indirecta utilizando el método de Thornthwaite (1948) con base en la serie de temperatura media mensual obtenida de las cinco (05) subáreas que componen la zona de estudio.

Los resultados estadísticos de la evapotranspiración potencial mensual se presentan en la Tabla 6. Este cálculo fue realizado para el área G.01, que incluye las cuencas y subcuencas del sector analizado. Esta ETP se calculó usando los promedios mensuales de la temperatura en cuatro estaciones meteorológicas. Oxapampa, Cerro de Pasco, San Rafael y Pozuzo.

Tabla 6. *Resultados Estadísticos de la ETP (mm) para las Cuencas y Subcuencas*

Subárea	Periodo	(mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
G-01	1964-2025	Máxima	145.2	158.4	162.3	55,2	55,9	53,6	55,9	56,9	56,1	59,5	59,0	61,5	589,1
		Promedio	112.5	125.6	130.2	55,2	55,9	53,6	55,9	56,9	56,1	59,5	59,0	61,5	687,6
		Mínima	78.4	85.1	85.6	55,2	55,9	53,6	55,9	56,9	56,1	59,5	59,0	61,5	687,6
		SD	22.4	25.1	24.8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9

Fuente: Escenarios de Cambio Climático y Variabilidad en la Región Central del Perú. Boletín Técnico Trimestral.

Marco Geológico

El marco geológico de la zona en estudio está relacionado con los estribos de la Cordillera Oriental de los Andes, ubicada en el centro del país. Las altitudes de esta cordillera varían entre 3500 y 3900 metros sobre el nivel del mar, y su fisiografía es accidentada. En términos litológicos, se encuentra en su mayor parte sobre rocas granodioríticas intrusivas de entre el Carbonífero y el Permo-Triásico, que datan del Ordovícico al Devónico. Además, se encuentra ubicado sobre rocas metasedimentarias del Paleozoico que pertenecen al Complejo Marañón.

Para el estudio actual, se ha llevado a cabo la descripción geomorfológica, geológica y estratigráfica con base en la evaluación de campo y en los datos obtenidos del Boletín N° 80 - Geología de lo Cuadrángulo de Pozuzo de la Carta Geológica

Nacional (INGEMMET, 1996) hoja 21-l. También se han incorporado otros estudios realizados anteriormente en el área y suministrados por SUNEC.

Geología Regional

En la región, hay granito de Paucartambo y rocas ígneas intrusivas granodioríticas que datan desde el Carbonífero hasta el Permo-Triásico. El relieve es muy abrupto, con aristas y crestas generadas por la acción glaciar. Hay taludes con pendiente alta a moderada, sobre los cuales se han depositado parcialmente depósitos glaciares cuaternarios. Estos son depósitos creados a partir de arrastres de material fragmentado por glaciares de varios tamaños, así como depósitos fluvioglaciares que dan lugar a valles en forma de U.

Se muestra en la Tabla 7 el tipo de columna estratigráfica regional, que incluye la era, el sistema, la serie, la unidad o formación y el símbolo de cada uno, así como su descripción estratigráfica.

Tabla 7. *Columna Estratigráfica Regional*

Era	Sistema	Serie	Unidad Formación	Símbolo	Descripción
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos Fluvioglaciares	Qh-flgl	Materiales constituidos por gravas con clastos de diversos tamaños subangulosos a subredondeados con matriz areno-limosa, característico de valles tipo U.
			Depósitos Glaciares	Qh-gl	Materiales formados por arrastres de material fragmentado por los glaciares de diversos tamaños de bloques y botonería angulares a subangulares con matriz limo-arenoso y arcilloso.
MESOZOICO	TRIÁSICO	Inferior			Constituido por granitos del batolito de Paucartambo y granodioritas de grano medio y mesócrata, presenta
PALEOZ	PÉRMIC	Superior	Unidad Intrusiva	PE-grd	plagioclasa, cuarzo y biotita, textura equigranular, con presencia de alteraciones sericiticas y cloritización.

Fuente: Geología de los Cuadrángulos de Pasco y Ulcumayo (Revisiones 2020-2023) - Actualización de la Carta Geológica Nacional a escala 1:50,000.

Geología local

La geología local del área del proyecto presenta un ambiente geológico constituido por afloramientos de rocas de naturaleza granodiorítica compacta de color gris claro con tonalidad verdosa y con textura fanerítica, compuesta por cristales de plagioclasas subhedrales, feldespatos potásicos, cuarzo y minerales ferromagnesianos con algunas impregnaciones de óxidos de hierro con alteración sericitica y clorítica por la cual pasa una falla de orientación NE-SW, ésta viene proyectándose desde las partes altas de la bocamina Balcón hacia el depósito de relaves. Sobre los afloramientos rocosos se han acumulado de forma parcial depósitos glaciares (morrenas) poco consolidados cubiertos de material orgánico. En la parte central baja del depósito de relaves hay presencia de depósitos fluvioglaciares en quebradas activas que discurren aguas abajo.

Dicho macizo constituye el basamento del vaso y presenta un comportamiento geomecánico competente. Para efectos de estabilidad física, su caracterización se desarrolla en el acápite 4.2.3 bajo el criterio Generalized Hoek-Brown con peso unitario $\gamma = 26{,}5\ kN/m^3$ y parámetros variables en función del GSI, conforme al logueo del sondaje DDHPLM26001 y Tabla 32.

Geomorfología. Las formas de relieve reconocidas son producto de la interacción entre procesos erosivos, factores litológicos, climáticos y deposicionales. Desde el enfoque de la geomorfología, el área se distingue por contar con cerros de laderas abruptas y perfiles angulosos que forman parte de montañas de roca intrusiva, así como también una planicie fluvioglaciar.

Según la observación de campo, se han identificado las unidades geomorfológicas siguientes en el área de influencia del proyecto:

Unidad Geomorfológica 1

Montaña con laderas moderadas a fuerte pendiente en afloramientos intrusivos y del Complejo Metamórfico Marañón emplazadas en zonas altas, en laderas de pendiente mayores a 30º grados.

Unidad Geomorfológica 2

Montaña con laderas de moderada pendiente distribuidas a lo largo del valle y las quebradas, en laderas de pendiente entre 15 a 30 grados.

Unidad Geomorfológica 3

La llanura fluvioglaciar, que se ha creado debido a la intensa actividad de grandes corrientes de agua que provienen de la desglaciación de glaciares antiguos. Mostrando amplios surcos de perfil transversal en forma de U, estos presentan en su fondo el paisaje hidromórfico conocido como bofedal.

Litología.

La secuencia estratigráfica de la zona en estudio se distingue por la existencia de un intrusivo de tipo granodiorítico, con una cobertura leve de suelos orgánicos (top soil) y depósitos glaciares o fluvioglaciares. Se detallan a continuación las unidades identificadas:

Depósitos de Bofefal (Qh-bo)

Son depósitos de suelos orgánicos con abundante presencia de humedad y almacenamiento de agua se forman en zonas de drenaje deficiente.

Depósitos Fluvioglaciares (Qh-flgl)

Se denomina de esta manera a los depósitos constituidos por gravas con clastos de diversos tamaños subangulosos a subredondeados con matriz areno-limosa, característico de valles tipo U.

Depósitos Glaciares (Qh-gl)

Se denomina de esta manera a los depósitos formados por arrastres de material fragmentado por glaciares de diversos tamaños de bloques y botonería angulares a subangulares con matriz limo- arenoso y arcilloso.

Intrusivo Granodiorítico (PE-grd)

Litológicamente constituido por granodioritas de grano medio y mesócrata, presenta plagioclasa (55%), cuarzo (21%) y biotita (14%), textura equigranular, con presencia de alteraciones sericitica y cloritización, en vetillas y vetas de cuarzo,

formando parte de las montañas en contacto con los depósitos glaciares.

En la Tabla 8, se aprecia la columna estratigráfica de la zona de estudio, se observa era, sistema, serie, unidad o formación, símbolo y descripción de la estratigráfica de cada unidad geológica identificada.

Tabla 8. *Columna Estratigráfica de la Zona de Estudio*

Era	Sistema	Serie	Unidad Formación	Símbolo	Descripción
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos Bofedal	Qh-bo	Suelos orgánicos con abundante presencia de humedad y almacenamiento de agua cubiertos de vegetación.
			Depósitos Fluvioglaciares	Qh-flgl	Materiales constituidos por gravas con clastos de diversos tamaños subangulosos a subredondeados con matriz areno-limosa, característico de
			Depósitos Glaciares	Qh-gl	Materiales formados por arrastres de material fragmentado por los glaciares de diversos tamaños de bloques y botonería angulares a subangulares con matriz limo-
MESOZOICO	TRIÁSICO	Inferior	Unidad Intrusiva	PE-grd	Constituido por granodioritas de grano medio mesócrata, presenta plagioclasa, cuarzo y biotita, textura equigranular, con presencia de alteraciónes sericitica y cloritización.
PALEOZOICO	PÉRMICO	Superior			

Fuente: Geología de los Cuadrángulos de Pasco y Ulcumayo (Revisiones 2020-2023) - Actualización de la Carta Geológica Nacional a escala 1:50,000.

Evaluación Geoestructural

Una falla con orientación NE-SO que se extiende desde la parte superior del pozo de la mina Balcón hacia el estanque de relaves es una de las estructuras menores (fracturas y juntas) y fallas que se encuentran en la región de estudio como

resultado de los procesos tectónicos compresivos de la orogenia andina.

Geodinámica Externa

De acuerdo con la información existente, en el área de estudio se han identificado riesgos geodinámicos, entre los cuales tenemos:

Flujo de Detritos

Estos flujos de sólidos son producidos por el arrastre del agua de material proveniente de las áreas de mayor pendiente tales como los afloramientos rocosos circundantes, los cuales están conformados por materiales gravo arcillosos de potencia variada.

Caídos de Roca

Estos movimientos de ladera se presentan principalmente en los flancos escarpados que delimitan el vaso del depósito, donde aflora el basamento rocoso intrusivo (PE-grd) y sectores del Complejo Metamórfico Marañón. Debido al intenso diaclasamiento y a la orientación de la falla NE-SW mencionada anteriormente, la roca granodiorítica presenta bloques liberados por procesos de meteorización y ciclos de humedecimiento. Es posible apreciar la acumulación de bolones y fragmentos angulares en los pies de talud de estas formaciones, los cuales representan un riesgo potencial para la infraestructura del canal de coronación y las bermas de inspección si no se implementan medidas de control de erosión

Criterios de Diseño para la Estabilidad Física

Los criterios analíticos o los factores de seguridad necesarios para los análisis de estabilidad en 2D satisfacen las exigencias de las entidades Canadian Dam Association (CDA), United States Society of Dam (USSD) y United States Bureau of Reclamation (USBR). La tabla a continuación presenta los mínimos factores de seguridad aceptables para el análisis de estabilidad 2D:

Tabla 9. *Criterios de Estabilidad Física*

Ítem	Descripción	Unidad	Criterio de Diseño
1.00	**Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón**		
1.10	**Estabilidad Física**		
1.11	Método de análisis de estabilidad (método de equilibrio limite)	método	Spencer
1.12	Período de retorno sismo de diseño	a	475
1.13	Aceleración máxima del suelo PGA (Peak ground acceleration)	g	0,309
1.14	Coeficiente Sísmico para el análisis pseudo-Estático	adim	0,155
1.15	Estabilidad estática, mínimo corto plazo	F	□1,3
1.16	Estabilidad estática, mínimo largo plazo	F	□1,5
1.17	Factor de seguridad mínimo permisible en condición pseudo estática	F	□ 1,1
1.18	Análisis de deformación	Si FS Pseudo-estático < 1,0	

Fuente: Guía de Criterios de Diseño para Depósitos de Relaves (Actualización 2023), D.S. N° 024-2016-EM y sus modificatorias (D.S. N° 023-2017-EM).

Criterios de Diseño Civil del Depósito

Asimismo, se efectuará el diseño civil del dique y depósito siguiendo los criterios mínimos de diseño establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 10. *Criterios de Diseño Civil del Depósito*

Ítem	Descripción	Unidad	Criterio de Diseño	Fuente
1.00	**Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón**			
1.10	**Dique**			
1.11	Ancho de cresta	m	4,00	GEOSYMSA
1.12	Tipo de material de relleno	Ti	Material granular/rock fill	GEOSYMSA
1.13	Talud aguas arriba	H	1,8:1,0	GEOSYMSA
1.14	Talud global aguas abajo	H	1,5:1,0	GEOSYMSA
1.15	Cota de cresta	msnm	3,698	SUNEC
1.20	**Depósito**			
1.21	Cota máxima de disposición	msnm	3 697	SUNEC/GEOSYMSA
1.22	Capacidad promedio	m	63 996	SUNEC
1.30	**Sistema de Subdrenaje y Colección de Efluentes**			
1.31	Tipo de sistema	ti	gravedad	SUNEC/GEOSYMSA
1.32	Material de tuberías	material	HDPE pared doble	SUNEC/GEOSYMSA
1.33	Textura interior	textura	corrugada	SUNEC/GEOSYMSA
1.34	Pendiente mínima	m/m	0.02	GEOSYMSA
1.50	**Pozas de Subdrenaje y Recuperación**			
1.51	Periodo de retorno tormenta de diseño	años	25	INDUSTRIA
1.52	Borde libre mínimo	m	1,0	INDUSTRIA
1.53	Impermeabilización con geosintético	s	SI	SUNEC/GEOSYMSA
1.54	Tipo de revestimiento	material	geomembrana	SUNEC/GEOSYMSA

Fuente: Expediente Técnico- Depósito de Relaves Ramos Balcón - Fase de Diseño Definitivo- GEOSYMSA.

Criterios de Diseño para el Manejo de Aguas

Finalmente, se llevará a cabo el diseño de estructuras para la gestión de aguas superficiales de acuerdo con los criterios mínimos de diseño que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 11. *Criterios de Diseño para el Manejo de Aguas Superficiales*

Ítem	Descripción	Unidad	Criterio de Diseño	Fuente
1.00	**Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón**			
1.10	**Manejo de Drenaje Superficial**			
1.11	Periodo de retorno mínimo para estructuras hidráulicas temporales en etapa de operación	años	20	Industria
1.12	Periodo de retorno para estructuras hidráulicas permanentes en etapa de cierre	años	200	Industria
1.13	Revestimiento para estructuras hidráulicas	tipo	Mampostería de piedra	SUNEC/ Industria
1.14	Pendientemínima para estructuras hidráulicas	%	1,0	Industria
1.15	Taludes laterales internos	m/m	0,5/1,0	Industria

Fuente: Expediente Técnico- Depósito de Relaves Ramos Balcón - Fase de Diseño Definitivo- GEOSYMSA.

Características técnicas del vaso del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón que contribuye al análisis de su estabilidad física.

A continuación, se presentan las características técnicas del de las características técnicas del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón.

Tabla 12. *Características Técnicas del Depósito de Relaves en pulpa Ramos Balcón*

Ítem	Característica	Descripción
1	Cota Máxima de recrecimiento aprobado.	3701.00 msnm
2	Cota inicial de recrecimiento primera etapa.	3672.00 msnm
3	Cota final de recrecimiento primera etapa.	3699.00 msnm
4	Borde Libre	1.0 m
5	Volumen de almacenamiento	80,221.59 m^3
6	Ancho de corona	7.00 m
7	Longitud de corona	409.153 m
8	Longitud de talud.	130.77 m
9	Angulo de inclinación aguas arriba	1.5H:1.0V
10	Angulo de inclinación aguas abajo	1.8H:1.0V
11	Volumen de relleno de dique en la primera etapa de construcción.	59,060.50 m^3
12	Material de dique de contención.	Material de préstamo de cantera compactado al 95% del Proctor Modificado con e=50cm, las dos últimas capas tienen un espesor de 0.30m. En zonas de refuerzo (gaviones), se empleará roca de cantera de alta resistencia (Rockfill) acomodada mecánicamente.
13	Sistema de Impermeabilización	Colocación de Geomembrana 1.5mm
14	Material y Recubrimiento de Canal de Coronación	Concreto
15	Aceleración del Sismo de Diseño (PGA)	0.309g
16	Sismo de Diseño	475 años
17	Tipo de Recrecimiento	Aguas abajo
18	Canal de Coronación de la Margen Izquierda	L= 288.50 m
	Canal de Coronación de la Margen Derecha.	L= 164.81 m
19	Piezómetros en dique de contención	01 piezómetro Casagrande
20	Inclinómetros en dique de contención	01 inclinómetro
21	Hitos topográficos.	15 hitos topográficos

Fuente: Expediente Técnico- Depósito de Relaves Ramos Balcón - Fase de Diseño Definitivo- GEOSYMSA.

Características geotécnicas del vaso del depósito de relaves Pulpa Ramos Balcón

Las características geotécnicas del vaso del depósito de relaves Pulpa Ramos Balcón de la Minera SUNEC son la base técnica que permite comprender y evaluar su comportamiento estructural y estabilidad física. Estas características se definen a partir de los resultados de ensayos de campo, de laboratorio y del análisis de estabilidad efectuado mediante el método del equilibrio límite.

BASAMENTO ROCOS-GRANODIORITA (PE-GRD).

El basamento corresponde a la Unidad Intrusiva PE-grd, descrita en 4.2.2 como granodiorita de grano medio y mesócrata con plagioclasa (55%), cuarzo (21%) y biotita (14%), textura equigranular con alteración sericítica y cloritización leve a moderada, afectada por falla NE-SW desde la bocamina Balcón. Para el modelamiento en SLOPE/W se adopta el criterio Generalized Hoek-Brown con peso unitario $\gamma = 26{,}5$ kN/m³ y parámetros variables en función del GSI, conforme al logueo geomecánico del sondaje DDHPLM26001 de 71,05 m y Tabla 32. Como referencia de roca intacta, los ensayos de carga puntual ASTM D-5731 sobre clastos granodioríticos del enrocado reportaron σc de 87,1 y 61,9 MPa, adoptándose $\sigma c = 50$ MPa para el enrocado según Barton & Kjærnsli (1981). La tomografía eléctrica no evidenció napa freática continua en la fundación.

Investigación geotécnica de campo

Los trabajos de investigación geotécnica de campo fueron desarrollados en dos (02) campañas, siendo que la primera campaña fue realizada en junio del 2022 y la segunda campaña en abril 2023, y comprendieron la elaboración de un mapeo geológico-geotécnico local de la zona de estudio, la ejecución de calicatas, ensayos in situ, y prospección geofísica del sitio. Finalmente, se colectaron muestras representativas de relleno y roca para su posterior caracterización a través de ensayos de laboratorio. A continuación, se presenta un resumen de los trabajos realizados:

Mapeo Geológico-Geotécnico

Un análisis geológico-geotécnico exhaustivo del área de investigación y sus alrededores ha hecho posible la detección y el registro de las unidades geotécnicas y los rasgos geológicos existentes. Se ha identificado que existe un basamento rocoso ígneo-intrusivo de manera general, constituido por afloramientos granodioríticos datados entre el Permico y el Triásico. Una falla con dirección NE-SW atraviesa esta formación, extendiéndose desde las zonas elevadas de la bocamina Balcón hasta el depósito de relaves. En la parte central y baja del depósito de relaves se encuentran depósitos glaciares y depósitos fluvioglaciares sobre los cuales presentan cobertura de suelo orgánico aproximadamente de un metro espesor.

Calicatas

La exploración a través de calicatas fue realizada excavándose un total de once (11) calicatas superficiales con una profundidad variable de 1,10 m hasta 1.60 m, las cuales fueron convenientemente ubicadas y distribuidas dentro del área de investigación.

Las calicatas realizadas tuvieron la finalidad de evaluar las condiciones geotécnicas del suelo de fundación y los futuros taludes de corte para la conformación del vaso del depósito de relaves. En cada una de las calicatas se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de materiales encontrados. Asimismo, se tomaron muestras disturbadas representativas, las cuales fueron identificadas y almacenadas en sacos y bolsas plásticas, para su posterior traslado al laboratorio geotécnico en la ciudad de Lima.

Tabla 13. *Muestra un resumen de las características de las calicatas ejecutadas.g*

Resumen de Calicatas

Calicata	Coordenadas		Profundidad Total (m)	Nivel de Agua (m)	*Topsoil* (m)	Basamento Rocoso (m)
	Este	Norte				
CA-DR-01	410 205	8 848 469	1,30	NE	0,5	NP
CA-DR-02	410 226	8 848 442	1,40	NE	0,5	NP
CA-DR-03	410 238	8 848 475	1,10	NE	0,3	NP
CA-DR-04	410 248	8 848 499	1,40	NE	0,7	NP
CA-DR-05	410 289	8 848 352	1,50	NE	0,4	NP
CA-DR-06	410 301	8 848 432	1,60	NE	0,3	NP
CA-DR-07	410 320	8 848 483	1,60	NE	0,6	NP
CA-DR-08	410 345	8 848 381	1,60	NE	0,4	NP
CA-DR-09	410 319	8 848 363	1,60	1,30	0,65	NP
CA-DR-10	410 360	8 848 418	1,60	1,00	1,1	NP
CA-DR-11	410 206	8 848 493	1,50	NE	1,1	NP

Fuente: JMF (junio, 2022).

Integración Geomecánica y Modelamiento Numérico

Es importante precisar que, si bien el análisis de estabilidad física se fundamenta en un modelamiento bidimensional (2D) mediante el software , la disposición de los datos geomecánicos garantiza una alta representatividad espacial de la zona de estudio. La distribución estratégica de las once (11) calicatas y el logueo de los sondajes diamantinos (como el DDHPLM26001) permitieron una caracterización detallada de la variabilidad litológica y estructural del depósito Ramos Balcón. Mediante la integración del mapeo geológico local y los perfiles estratigráficos obtenidos, se definieron secciones críticas transversales y longitudinales que representan los escenarios de mayor compromiso geotécnico (máxima altura de dique y pendientes más pronunciadas), asegurando que el comportamiento tridimensional del vaso y la cimentación quede debidamente simplificado y analizado bajo condiciones de equilibrio límite conservadoras.

La representatividad espacial del modelo se garantizó mediante la distribución estratégica de las once (11) calicatas y el logueo geomecánico detallado de los sondajes diamantinos, destacando el sondaje DDHPLM26001 que alcanzó una profundidad de 71.05 m. Esta base de datos permitió definir con precisión el contacto entre el basamento de granodiorita (PE-grd) y la potencia de los depósitos glaciares/fluvioglaciares, así como la ubicación del nivel freático. Con esta estratigrafía consolidada, se seleccionaron las secciones de mayor compromiso geotécnico (máxima altura de dique y pendientes más críticas) para ser analizadas mediante el software Slope/w 2022.1 de GeoStudio. Se empleó el Método de Spencer porque, al cumplir estrictamente con el equilibrio de fuerzas y momentos, ofrece factores de seguridad más seguros que los métodos simplificados. El modelo posibilitó el análisis del comportamiento del depósito en condiciones pseudo-estáticas y estáticas, incorporando las aceleraciones sísmicas de 0.309 g establecidas para la región de Oxapampa.

Ensayos In Situ Densidad de Campo

Se llevaron a cabo cuatro (04) pruebas de densidad in situ en el campo, utilizando el método del cono de arena (Norma ASTM D-1556-07) que se llevó a cabo en la superficie del suelo natural.La Tabla 14 muestra los resultados de los ensayos.

Tabla 14. *Resumen de Ensayos de Densidad In Situ*

Componente	Profundidad (m)	Código	Coordenadas UTM		Densidad Húmeda (gr/cm^3)
			Este	Norte	
Depósito de	1,10 – 1,30	CA-DR-	410	8 848 469	2,074
	1,10 – 1,40	CA-DR-	410	8 848 442	2,296
	0,80 – 1,10	CA-DR-	410	8 848 475	1,942
	1,20 – 1,40	CA-DR-	410	8 848 499	1,842
	1,10 – 1,60	CA-DR-	410	8 848 381	1,996

Fuente: JMF (junio, 2022).

Penetración Dinámica Ligera

Se realizó nueve (09) ensayos de penetración dinámica ligera. En la Tabla 15 se muestran los resultados de la profundidad del rechazo de los ensayos de penetración dinámica ligera.

Tabla 15. *Resumen de Ensayos DPL*

Componente	Código	Coordenadas UTM		Profundida
		Este	Norte	
	DPL-DR-01	410 205	8 848 469	0,70
	DPL-DR-02	410 226	8 848 442	0,15
	DPL-DR-03	410 238	8 848 475	0,25
	DPL-DR-04	410 248	8 848 499	1,10
	DPL-DR-05	410 289	8 848 352	0,40
	DPL-DR-06	410 301	8 848 432	0,45
	DPL-DR-07	410 320	8 848 483	0,60
	DPL-DR-08	410 345	8 848 381	0,60
	DPL-DR-09	410 319	8 848 363	0,70

Fuente: JMF (junio, 2022).

Prospección Geofísica

Para evaluar, de forma indirecta, las características estratigráficas de los materiales que componen la fundación del área del proyecto fueron programados ensayos de prospección geofísica, el cual también fueron realizadas en dos (02) campañas, las cuales a continuación se describen.

Ensayos Geofísicos

Se realizaron pruebas MASW de perforación y ensayos geofísicos de refracción sísmica para evaluar las condiciones de la fundación. A continuación, se explica la distribución de los ensayos geofísicos realizados:

Dos (02) líneas de refracción sísmica (LRS-1 y LRS-2) de 96 m de longitud,

Dos (02) líneas de sondajes MASW (MASW-1 y MASW-2) de 54.5 m de longitud.

En la Tabla 16 se resumen las principales características de los ensayos realizados:

Tabla 16. *Resumen de Ensayos Geofísicos*

Componente	Código	Punto	Coordenadas UTM (WGS84)		Longitud
			Este	Norte	
Depósito de Relaves	LRS-01	Inicio	410 366,92	8 848 58,46	96,0
		Fin	410 344,86	8 848 489,36	
	LRS-02	Inicio	410 430,90	8 848 493,46	96,0
		Fin	410 349,78	8 848 533,31	
	MASW-01	Punto	410 352,38	8 848 535,49	54,5
	MASW-02	Punto	410 390,51	8 848 513,50	54,5

Fuente: JMF (junio, 2022).

En abril del 2023, se realizó ensayos geofísicos MASW2D y de tomografía eléctrica con la finalidad de evaluar las condiciones de la fundación. A continuación, se define la distribución de ensayos geofísicos realizados:

Cuatro (04) líneas MASW2D,

Cuatro (04) líneas de tomografía eléctrica.

En la Tabla 17 se resumen las principales características de los ensayos realizados:

Tabla 17. *Resumen de Ensayos Geofísicos*

Componente	Código	Punto	Coordenadas UTM (WGS84)	
			Este	Norte
		Inicio	410 189	8 848 518
		Fin	410 300	8 848 451
	MASW2D-01B*	Inicio	410 273	8 848 438
		Fin	410 316	8 848 484
	MASW2D-02	Inicio	410 277	8 848 555
		Fin	410 213	8 848 433
	MASW2D-03	Inicio	410 287	8 848 517
		Fin	410 216	8 848 410
		Inicio	410 370	8 848 505

Depósito de Relaves	MASW2D-04	Fin	410 218	8 848 375
	TE-01	Inicio	410 189	8 848 518
		Fin	410 333	8 848 415
	TE-02	Inicio	410 277	8 848 555
		Fin	410 207	8 848 428
	TE-03	Inicio	410 285	8 848 550
		Fin	410 235	8 848 412
	TE-04	Punto	410 370	8 848 505
		Punto	410 254	8 848 361

Fuente: GEOSYMSA (abril,2023).

Ensayos de laboratorio

A partir de las muestras obtenidas se ha realizado un programa de ensayos de laboratorio para cada campaña de investigación realizada: (2022) y (2023), los cuales a continuación se describen.

Durante el estudio realizado el año 2022, se colectaron muestras de relaves y del suelo de fundación, ejecutándose un programa de ensayos de laboratorio cuya lista se presenta y describe cada una de ellas a continuación.

Ensayos Estándares en Suelos

- Contenido de Humedad (ASTM D2216 - 98)
- Análisis Granulométrico (ASTM D422- 63)
- Límites de Atterberg (ASTM D4318- 98)
- Clasificación SUCS (ASTM D2487- 98)
- Gravedad Específica de los Suelos (ASTM D854)

Ensayos Específicos en Suelos

- Compactación Proctor Modificado (ASTM D-1557)
- Corte Directo (ASTM D5607)
- Compresión Triaxial CU (ASTM D4767)

Ensayos Geoquímicos

- Acid Base Accounting (ABA)

Los ensayos fueron efectuados en el laboratorio de JMF Labcon, ubicado en la ciudad de Lima, cuyo detalle y certificados. A continuación, se presenta de forma resumida los resultados obtenidos.

Ensayos Estándar en Muestras de Suelo

Se realizaron pruebas estándar de laboratorio en las muestras seleccionadas recogidas durante la campaña geotécnica para identificarlas y clasificarlas de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

En la Tabla 18 se presentan las propiedades índices de los materiales probados, incluyendo la granulometría, el contenido de humedad, los límites de consistencia y la gravedad específica.

Tabla 18. *Resumen de Ensayos Estándar de Suelos*

Sondaje	**Profundidad (m)**	**Clasific. SUCS**	**Distribución**			**Límite de**		***w*** **(%)**	***Gs***
			Grava (%)	**Arena (%)**	**Finos (%)**	***LL***	***IP***		
CA-DR-01	1,10 – 1,30	GC	46,3	34,2	19,5	19,	7,7	9,4	2,768
CA-DR-02	1,10 – 1,40	GP-GM	46,1	42,4	11,5	NP	NP	10,5	2,760
CA-DR-03	0,80 – 1,10	SC	29,3	43,4	27,4	21,	8,2	7,8	
CA-DR-04	1,20 – 1,40	CL	-	20,9	79,1	27,	13,	67,6	
CA-DR-05	1,30 – 1,50	GC-GM	44,7	40,4	14,9	17,	4,3	5,1	
CA-DR-06	0,30 – 1,60	SC-SM	38,4	43,0	18,6	25,	7,0	7,1	
CA-DR-07	0,60 – 1,60	GP-GM	52,7	36,8	10,5	16,	3,8	2,7	
CA-DR-08	1,10 – 1,60	SC-SM	37,4	42,6	20,0	25,	7,0	6,5	
CA-DR-09	1,40 – 1,60	SC	28,8	41,1	30,1	26,	8,9	6,4	
CA-DR-10	1,10 – 1,60	GC-GM	43,4	42,7	13,9	20,	6,1	3,6	
CA-DR-11	1,10 – 1,50	GC-GM	40,6	38,7	20,7	20,	6,7	8,4	
MPS-01	Relaves	CL	0,2	36,8	63,0	23,	12,	22,5	2,604
MPS-02	Relaves	CL	-	36,0	64,0	23,	13,	22,3	2,615

Notas:

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

LL: Límite líquido

IP: Índice de plasticidad *w*: Contenido de humedad *Gs*: Gravedad específica

Ensayos de Conductividad Hidráulica

Este ensayo permite determinar la permeabilidad hidráulica en suelos, tanto para muestras inalteradas como compactadas, siendo su principal ventaja la saturación de los suelos finos. Los ensayos fueron desarrollados siguiendo los procedimientos descritos en las normas ASTM D5084 (Permeabilidad Pared Flexible). En la Tabla 19 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 19. *Resumen de Ensayos de Conductividad Hidráulica*

Procedencia	**Calicata**	**Profundidad (m)**	**Clasificación SUCS**	***k*** **(cm/s**
Suelo de Fundación	CA-DR-06	0,30 – 1,60	GC	1,09E-06
Relaves	MPS-01	-	CL	1,34E-06

Notas:

k: Conductividad Hidráulica

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Ensayos de Compactación Proctor Modificado

Se emplearon los métodos descritos en la norma ASTM D-1557 (Proctor Modificado) para examinar los relaves y así establecer la fluctuación de la densidad seca en función del contenido de humedad. Un resumen de los resultados de las pruebas se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20. *Resumen de Ensayos de Compactación*

Procedencia	**Calicata**	**Profundidad (m)**	**Clasif. SUCS**	**MDS (gr/cm^3)**	**OCH (%)**
Relaves	MPS-01	-	CL	1,912	10,59

Notas:

SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos MDS: Máxima densidad seca

OCH: Óptimo contenido de humedad.

Ensayos de Corte Directo

Se llevaron a cabo pruebas de corte directo de acuerdo con los procedimientos establecidos en la norma ASTM D-3080 para calcular los parámetros de resistencia del depósito y los relaves. No obstante, en cuanto a los resultados del suelo de fundación, es preciso señalar que el ensayo se lleva a cabo únicamente con las partículas menores que la malla N°4, dejando fuera las gravas. Esto genera resultados muy conservadores para sus parámetros de resistencia.

Tabla 21. *Resumen de Ensayos de Corte Directo*

Procedencia	**Calicata**	**Profundidad (m)**	**Clasificación SUCS**	**Parámetros de Resistencia**	
				c **(kPa)**	**(°)**
Suelo de Fundación	CA-DR-02	1,10 – 1,40	GP-GM	0,60	35,7
Relave	MPS-01	-	CL	4,44	30,5

Notas:

SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos c: Cohesión

ϕ: Ángulo de fricción

Ensayo de Compresión Triaxial

Para determinar las propiedades mecánicas de resistencia al corte del terreno de la fundación, se ha realizado un ensayo triaxial Consolidado-No drenado (CU). Los ensayos se realizaron siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM D4767. La Tabla 22 presenta los resultados de las pruebas.

Ensayo de Compresión Triaxial

A fin de determinar las propiedades mecánicas de resistencia al corte del suelo

de fundación, se ha realizado un (01) ensayo triaxial Consolidado – No Drenado (CU). Los ensayos fueron desarrollados siguiendo el procedimiento descrito en la norma ASTM D4767. En la Tabla 22 se presentan los resultados de los ensayos.

Tabla 22. *Resumen de Ensayo Triaxial CU*

			□	***w***	**Esfuerzos Efectivos**		**Esfuerzos Totales**	
Procedencia	**Muestra**	**Clasif. SUCS**	**(g/cm³)**	**(%)**	***c*** **(kPa)**	□ (°)	***c*** **(kPa)**	□ (°)
Suelo de Fundación	CA-DR-02	GP-GM	1,943	10,50	10	41	19	26

Notas:

SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos.

Densidad seca

w: Contenido de humedad c: Cohesión

ϕ: Ángulo de fricción

Ensayo Geoquímicos y Evaluación de Drenaje Ácido

Se realizó un análisis de Potencial de Drenaje Ácido (PGA) para investigar la estabilidad química del suelo de fundación en el área donde se encuentra el Depósito de Relaves Ramos Balcón. Con el objetivo de analizar el comportamiento geoquímico, se realizaron dos experimentos estáticos de equilibrio ácido-base (ABA) empleando la técnica SOBEK. La Tabla 23 proporciona un compendio de los hallazgos obtenidos a partir de la evaluación del estudio del drenaje ácido.

Tabla 23. *Resumen de Ensayos ABA*

Código s	**PH en pasta**	**Efervescencia**	**S% (Sulfuro) < 0, 1 %**	**Potencial**			**Relación PN/PA (NPR) > 4,0**
				PA	**PN**	**PNN**	
CA-DR-01	6,81	0,0	0,04	1,	3,8	2,5	3,06
CA-DR-03	6,58	0,0	0,04	1,	2,3	1,0	1,85

Notas:

SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos.

□: Densidad seca

w: Contenido de humedad

c: Cohesión

□: Ángulo de fricción

Para la evaluación de los resultados se han utilizado los siguientes criterios: Si S% < 0.1% No se producirá drenaje ácido.

Razón de Potencial de Neutralización (NPR) = PN/MPA,

Valor del Potencial Neto de Neutralización (PNN) = PN - MPA.

Razón de Potencial de Neutralización (NPR)

Existe una cierta variedad de enfoques con el que se puede evaluar el potencial de generación de ácido de un material, para el presente estudio se ha adoptado el método de Price (1997), el cual fue desarrollado para la provincia de British Columbia (Canadá) pero con aplicación a nivel mundial. El método utiliza la relación de los valores de Potencial de Neutralización (PN) y Potencial de Acidez (MPA), empleando para la interpretación de resultados el parámetro de Razón de Potencial Neto (NPR).

Tabla 24. *Criterios de Clasificación según resultados ABA*

Potencial para la Generación de Ácido	**NPR**	**Comentario**
No Generador de Acidez	> 4	No generador de acidez.
Incertidumbre	4 a 1	Rango de incertidumbre, dependiendo de la reactividad del NP y su agotamiento.
Generador de Acidez	< 1	Probablemente generador de acidez, a menos que los sulfuros minerales sean no reactivos.

Fuente: Guía para el Manejo de Drenaje Ácido de Mina, Ministerio de Energía y Minas (MINEM) del Perú.

Potencial Neto de Neutralización (NNP)

El potencial neto de neutralización (PNN) es la capacidad neta de un material para producir o neutralizar acidez. Cuando la diferencia entre PN y MPA es negativa, el riesgo de producción ácida aumenta. Cuando los valores de PNN varían entre -20 y 20, como se muestra en la Tabla 25, la predicción de la producción ácida es incierta y un poco complicada, pues puede ocurrir que haya una baja acidez o que parezca una muestra con poca alcalinidad.

Tabla 25. *Explicación de los Valores de PNN*

Potencial para la Generación de Acidez	**PNN**
No Generador de Acidez	> 20
Incertidumbre	-20 a 20
Generador de Acidez	< -20

Fuente: Guía para el Manejo de Drenaje Ácido de Mina, Ministerio de Energía y Minas (MINEM) del Perú.

Evaluación de Resultados

En las muestras de la fundación del Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón, la proporción porcentual de azufre total (S) está por debajo del 0,1%. Por lo tanto, se determina que estos materiales no producen drenaje ácido.

Ensayos de Laboratorio (2023)

A lo largo de la campaña de abril de 2023, se recolectaron muestras del enrocado, el suelo de fundación y la grava de drenaje para realizar pruebas en laboratorio. Las pruebas se realizaron en el laboratorio RZ Lab Testing, ubicado en Lima, cumpliendo los procedimientos establecidos por las versiones más recientes de los métodos ASTM (American Society for Testing and Materials), que son la base de las Normas Técnicas Peruanas (NTP). La lista de ensayos realizados a lo largo del estudio se presenta a continuación:

- Contenido de Humedad, ASTM D2216
- Análisis Granulométrico por Tamizado, ASTM D6913

- Límites de Atterberg, ASTM D4318
- Proctor Estándar, ASTM D698
- Compresión Triaxial CU, ASTM D4767
- Abrasión, ASTM C535
- Carga Puntual, ASTM D5731

A seguir, se hace una descripción de los resultados de los ensayos según los tipos de materiales identificados en campo.

Ensayos Estándar en Muestras de Suelo

Se realizaron pruebas estándar de laboratorio en las muestras seleccionadas recogidas durante la campaña geotécnica para identificarlas y clasificarlas de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

La tabla 26 compendia las propiedades índices de los materiales analizados según su granulometría, límites de consistencia, contenido de humedad y gravedad específica.

Tabla 26. *Resumen de Ensayos Estándar de Suelos*

	Profundidad	**Clasific.**	**Distribución Granulométrica**			**Límite de**		***w***	***Descripción***
Material	**(m)**	**SUCS**	**Grava %**	**Arena %**	**Finos (%)**	***LL***	***IP***	**%**	
Enrocado	Superficial	GP-GC	67,5	22,3	10,2	25	8	4,2	Gravas pobremente gradadas con arenas y arcillas. Sobretamaño > 3”:
Grava de Drenaje	Superficial	GW	91,3	7,4	1,3	-	-	0,9	Gravas bien gradadas. Sobretamaño > 3”:
Suelo de Fundación	Superficial	SC-SM	30,4	37,5	32,1	22	7	9,4	Arenas arcillosas con gravas y limos.

Notas:

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos LL: Límite líquido

IP: Índice de plasticidad w: Contenido de humedad **Ensayos de Abrasión**

Se realizaron ensayos de abrasión en muestra de grava de drenaje en la máquina Los Ángeles según los procedimientos de la norma ASTM C-535, obteniéndose un desgaste por abrasión del 13,2%. En consecuencia, este material cumple las especificaciones técnicas solicitadas para la grava de drenaje en carreteras al tener un desgaste por abrasión mucho menor al 40%.

Ensayos de Compactación Proctor Estándar

Conforme a la norma ASTM D-698 (Proctor estándar), se determinó el cambio en la densidad seca en función de la humedad contenida para los suelos de fundación. La tabla 27 sintetiza los resultados de las pruebas.

Tabla 27. *Síntesis de Ensayos de Compactación*

Procedencia	**Profundidad (m)**	**Clasificación SUCS**	**MDS (gr/cm3)**	**OCH (%)**	**Descripción**
Suelo de Fundación	Superficial	SC-SM	2,180	7,60	Arenas arcillosas con gravas y limos

Notas:

SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos MDS: Máxima densidad seca

OCH: Óptimo contenido de humedad

Ensayos de Carga Puntual

Como parte de la caracterización de los clastos de roca granodioríticos presente en los enrocados del dique del depósito, se realizaron 02 ensayos de carga puntual (03 especímenes por ensayo) obteniéndose una resistencia a la compresión (□*c*)) de 87,1 y 61,9 MPa para la dirección paralela. En consecuencia, para los fines de determinar la envolvente de resistencia de los enrocados, se considera para los

clastos de roca un □*c*) de 50,0 MPa.

Ensayo de Compresión Triaxial

Se ha realizado un ensayo triaxial consolidado-no drenado (CU) con un diámetro de 6" para determinar las propiedades mecánicas del suelo de fundación en cuanto a su resistencia al corte. Los ensayos se realizaron siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM D4767.

Los parámetros geotécnicos son bastante bajos, de acuerdo con los resultados de los exámenes que aparecen en la Tabla 28. Esto es así porque la muestra recogida era superficial y estaba compuesta por suelos fluvioglaciares predominantemente finos. Además, es importante señalar que los ensayos llevados a cabo en muestras más profundas (depósitos morrénicos) tienen una competencia superior a la de los depósitos fluvioglaciares superficiales, que se pueden observar en las grandes secciones hechas en el área del proyecto.

Tabla 28. *Síntesis de Ensayo Triaxial CU*

Procedencia	**Muestra**	**Clasif. SUCS**	□ **(g/cm³)**	***w*** **(%)**	**Esfuerzos Efectivos**		**Esfuerzos Totales**	
					c **(kP**	□ (°)	***c*** **(kP**	□ (°)
Suelo de Fundación	Superficia	SC-SM	2,071	7,60	1	28	1	1

Notas:

SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos.

□ □Densidad seca

w: Contenido de humedad c: Cohesión

□: Ángulo de fricción

Caracterización geotécnica

Las unidades geotécnicas que se han identificado en el sector de desplante del Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón son seis unidades claramente

definidas: Basamento rocoso, relleno estructural, gaviones, relaves, suelo de fundación y enrocado.

Se discuten los parámetros geomecánicos y geotécnicos de los componentes del modelo geotécnico de análisis, que se emplean para evaluar la estabilidad física de la estructura. Además, se recurrió a la información adquirida mediante investigaciones previas, la bibliografía técnica disponible, las pruebas de laboratorio y de campo que llevó a cabo GEOSYMSA y la experiencia de nuestro equipo técnico en este tipo de proyectos.

Unidad Geotécnica I: Enrocado. Son los rellenos utilizados en el dique de contención del depósito, están conformados por clastos de roca granodiorítica, de tamaño variado, de forma angulosa, con tamaño máximo de 0,30m, los cuales serán dispuestos en capas de 0,50m, compactados al 95% del ensayo Proctor modificado. La Tabla 29 presenta su distribución requerida.

Tabla 29. *Especificaciones del Enrocado*

Tamaño de Malla		
SI	**Norma ASTM**	**% que pasa**
350 mm	14 pulgadas	100
300 mm	12 pulgadas	90 - 100
200 mm	8 pulgadas	70 - 90
50 mm	2 pulgadas	35 - 65
25 mm	1 pulgada	30 - 55
4,75 mm	# 4	10 - 30
0,075 mm	# 200	0 - 10
Índice de plasticidad	ASTM D4318	<15%
Índice de carga puntual	ASTM D-5731	> 50 MPa

Para la caracterización de estos enrocados, se tomó como referencia el criterio de Barton & Kjærnsli (1981), utilizado para el cálculo de la resistencia de enrocados y desmonte de mina. A continuación, se presenta la ecuación para el cálculo de la

resistencia al corte de enrocados según este criterio, el cual está en función de las constantes R y S, propias de cada material, así como también el ángulo de fricción interna residual del mismo.

En donde:

$$\tau = \sigma_n \ tan\left[R \ log\left(\frac{S}{\sigma_n}\right) + \emptyset_r\right].$$

□ : Esfuerzo cortante

□$_n$: Esfuerzo normal

R : Relación entre porosidad del material y rugosidad de las partículas

S : Relación entre la resistencia a la compresión simple y el tamaño de la partícula D50.

□$_r$: Ángulo de fricción interna residual del material

De acuerdo con los ensayos de laboratorio, para estos materiales se tiene una distribución granulométrica de 7,2% de sobre tamaños, 62,64% de gravas, 20,70% de arenas y 9,46% de finos. Asimismo, los ensayos de carga puntal realizados en los clastos nos indican una resistencia a la compresión de 50 MPa, los cuales cumplen con las especificaciones indicadas en la Tabla 26.

De esta manera, se obtuvo un valor de *S* igual a 11 MPa, un valor de *R* igual a 7 y un ángulo de fricción residual de 30° para los clastos angulosos compuestos por rocas granodioríticas. Al aplicar estos valores a los términos de la ecuación (1), se logra una envoltura que no es lineal, lo cual es característico del comportamiento de resistencia cortante de materiales granulares como los enrocados. La Tabla 7.2 muestra cómo varía el esfuerzo cortante (τ) con respecto al esfuerzo normal (σn). Finalmente, se calcula una densidad total de 24.0 kN/m3 para los enrocados.

Tabla 30. *Envolvente No Lineal de Resistencia Cortante del Enrocado*

Material	**Esfuerzo Normal (σ_n) (MPa)**	**Esfuerzo de Corte (τ) (MPa)**
Enrocado en Dique de Contención	0	0
	25	32
	50	59
	100	110
	200	204
	400	380
	800	707
	1600	1313

Unidad Geotécnica II: Suelo de Fundación. Son los suelos gruesos de naturaleza glacial o morrénica que se encuentran a 1,0m por debajo de la superficie en promedio. Estos materiales clasifican en el sistema SUCS como GC/GP-GM/GC-GM/SC-SM (gravas arcillosas, gravas pobremente gradadas con limos, gravas arcillosas con limos y arenas arcillosas con limos), con un grado de compactación variando de medianamente denso a denso según las calicatas excavadas y los ensayos MASW2D realizados en el área.

Del ensayo triaxial efectuado en material colectado de la calicata CA-DR-02, el cual fue remoldeado a la densidad in situ, se obtienen parámetros geotécnicos en términos de esfuerzos efectivos tales una cohesión de 10 kPa y un ángulo de fricción de 41°. Sin embargo, estos depósitos no son uniformes del todo, encontrándose lentes de materiales finos tales como SC/CL sobre todo en el primer metro superficial.

Además, tomando como límite inferior los ensayos de corte directo para los parámetros geotécnicos de estos materiales y tomando en cuenta que no se ha observado la existencia de una napa freática en estos depósitos, los valores

geotécnicos del suelo de fundación son: 5 kPa para la cohesión, 33° para el ángulo de fricción y 20,0 kN/m3 para la densidad total.

Unidad Geotécnica III: Relaves. Los relaves son los materiales excedentes saturados producto del proceso del mineral en la Planta de Beneficio. Estos materiales están compuestos por suelos que poseen una clasificación SUCS de CL (arcillas magras o de baja plasticidad), los cuales se encuentran en condición saturada y con un grado de consistencia extremadamente blando.

De acuerdo con nuestra experiencia, para estos materiales se estima una resistencia no drenada (*Su*) de 20 kPa, un ángulo de fricción nulo y una densidad de 16 kN/m^3.

Unidad Geotécnica IV: Gaviones. Son el conjunto gravas-malla que retienen los clastos de roca en una disposición cúbica o rectangular para darle sostenibilidad al paramento vertical que presentan. De acuerdo con información del fabricante de gaviones (Maccaferri) para este sistema gravas-malla se considera una cohesión promedio de 17,5 kPa, un ángulo de fricción de 40° y una densidad total de 23,0 kN/m^3.

Unidad Geotécnica V: Relleno Estructural. Son los materiales gruesos que cubrirán el área existente entre los gaviones a ser dispuestos en la corona del dique de contención del Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón. Estos materiales serán dispuestos en capas de 0,20 m entre las geomallas a ser dispuestas entre los gaviones del sistema Terramesh y compactados al 95% del ensayo Proctor Modificado.

La Tabla 31 presenta la gradación y especificación necesaria para el relleno estructural, el cual, de acuerdo con nuestra experiencia, se estima unos parámetros geotécnicos en términos de esfuerzos efectivos tales como una cohesión de 5 kPa, un ángulo de fricción de 35° y una densidad de 23,0 kN/m^3.

Tabla 31. *Especificaciones del Relleno Estructural*

Tamaño de malla		
SI	**Norma ASTM**	**% que pasa**
100 mm	4 pulgadas	90 - 100
50 mm	2 pulgadas	80 - 100
25 mm	1 pulgada	50 - 90
13 mm	1/2 pulgada	40 - 85
4,75 mm	# 4	45 - 80
0,45 mm	# 40	10 - 50
0,075 mm	# 200	0 - 25
Índice de plasticidad	ASTM D4318	<15%

Notas:

La geomalla a ser utilizada es la ParaGrid/ParaDrain Geogrid de Maccaferri de 50 kN/m de resistencia

a la tensión o similar.

Unidad Geotécnica VI: Basamento Rocoso. Subyacente a los depósitos glaciales o morrénicos se encuentra el basamento rocoso granodiorítico, el cual se presenta muy profundo con respecto a las estructuras que componen el Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón tales como: dique de contención, vaso del depósito, etc. En consecuencia, para los fines del análisis de estabilidad física del depósito, la resistencia del basamento rocoso se considera infinita con una densidad de 26 kN/m3, de manera de generar las superficies de falla más desfavorables en superficie.

Nivel de Fundación. Tal como se indicó anteriormente, el nivel de fundación del dique de contención y del vaso del depósito requiere la limpieza total de los depósitos fluvioglaciares existentes en el área, el cual, de acuerdo con la información existente de estudios anteriores (JMF, 2022), se encuentra hasta 1,0 m de profundidad hasta el encuentro del techo de los depósitos glaciales o morrénicos medianamente

densos a densos subyacentes.

Nivel de Agua. Según los registros de las calicatas llevadas a cabo, se han detectado niveles de agua superficial en las calicatas CA-DR-09 y CA-DR-10 a una profundidad de 1,0 m. Como estas exploraciones están cerca de quebradas situadas en la parte alta del talud, se presume que el nivel del agua está más profundo en la parte baja del mismo. Esto se debe a que no se halló presencia de agua en otras calicatas con profundidades de hasta 1,60 m.

Los ensayos de tomografía eléctrica realizados en el área del Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón indican que no existe una napa freática continua en esta área, detectándose tan solo bolsones superficiales producto de la temporada de lluvias reinante en la zona. En consecuencia, los análisis de estabilidad física serán realizados utilizando sus parámetros de resistencia en términos de esfuerzos efectivos o drenados.

Estabilidad global del vaso del depósito de relaves frente a posibles fallas por licuación o deslizamientos internos

Con el fin de evaluar la estabilidad física del embalse de residuos de Ramos Balcón, se llevaron a cabo evaluaciones de la estabilidad de los

taludes tanto en condiciones sísmicas como estáticas, teniendo en cuenta los datos obtenidos de pozos de sondeo, estudios geofísicos, experimentos de laboratorio y factores geotécnicos. A continuación, se presentan los resultados y el enfoque utilizado.

Criterios de Diseño Geotécnico

La sección crítica A-A´ del Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón fue analizada utilizando el método de equilibrio límite para el análisis de estabilidad 2D. Así, la sección resultante refleja las propiedades de los materiales y la fundación que integran el depósito (modelo geotécnico).

Según la literatura técnica que ha sido ampliamente aceptada por la comunidad internacional, los ensayos de estabilidad de taludes deben ser realizados

bajo los siguientes criterios de diseño geotécnico:

Método para el análisis de estabilidad de taludes: equilibrio límite – análisis estático y pseudo-estático (práctica estándar de la industria).

Mínimo factor de seguridad estático a corto plazo igual o mayor a 1,3 (CDA, 2019).

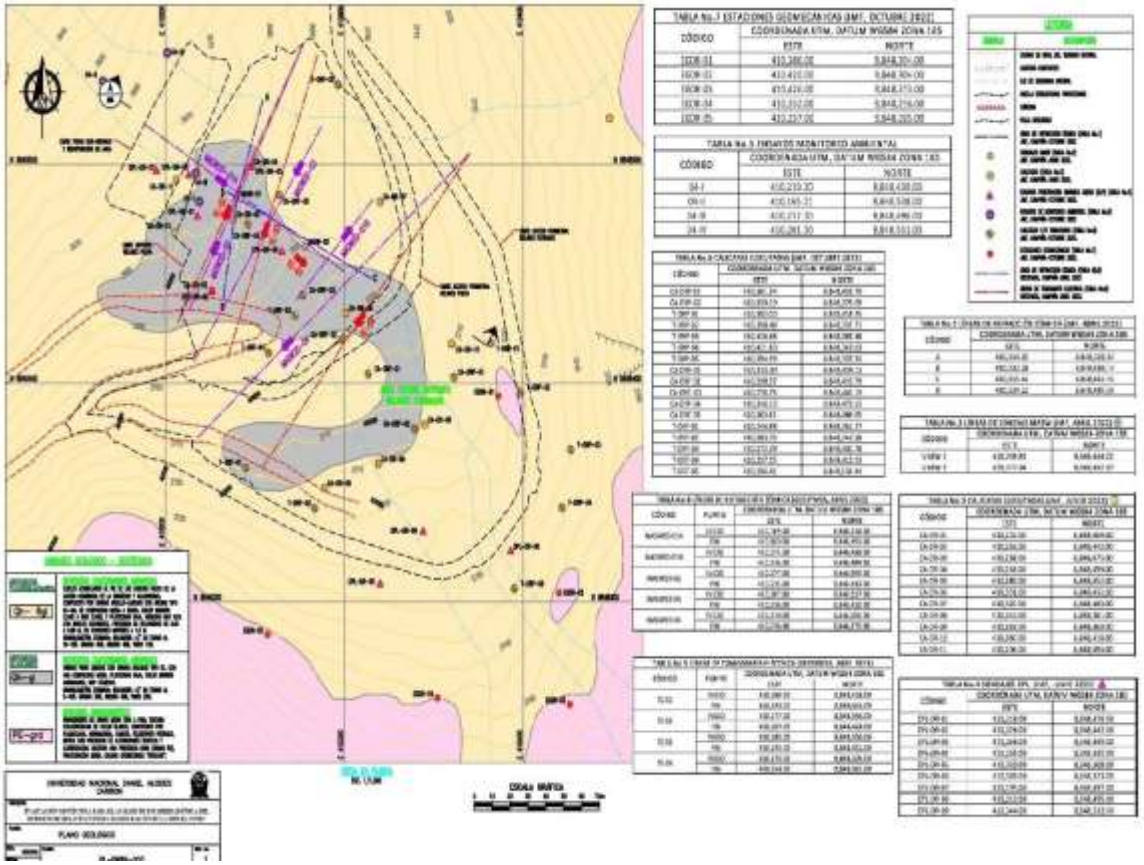
Mínimo factor de seguridad estático a largo plazo igual o mayor a 1,5 (CDA, 2019).

Sismo de diseño con 475 años de periodo de retorno: 0,309g (GEORYS, 2022).

Coeficiente sísmico para el análisis pseudo-estático: ½ PGA (práctica estándar de la industria / Hynes-Griffin &Franklin (1984)) igual a 0,155.

Mínimo factor de seguridad pseudo-estático a largo plazo igual o mayor a 1,0 (CDA, 2019).

Figura 3. *Ubicación en Planta de la Sección Crítica de Análisis*



Método de Análisis

Para la sección crítica, se tomó en cuenta las siguientes consideraciones para los análisis de estabilidad:

El análisis en condiciones estáticas y pseudo-estáticas ha considerado la condición crítica que corresponde a la sección de mayor altura y de mayor pendiente, el cual se encuentra representado por la sección A-A .

Para la sección de análisis del depósito se asumió que las potenciales fallas a ocurrir podrían ser del tipo circular y del tipo bloque, y para conseguir este objetivo se realizó el análisis utilizando el método riguroso de Spencer, el cual viene incorporado en el software utilizado

Tabla 32. *Parámetros geotécnicos para el estudio de la estabilidad física*

Material / Unidad Geotécnica	Modelo de Resistencia	Peso Unitario (γ) (kN/m³)	Cohesión (c′) (kPa)	Ángulo de Fricción (ϕ′) (°)
Relave en Pulpa	Mohr-Coulomb	18,5	0	26 – 28
Relleno Estructural (Dique)	Mohr-Coulomb	21	5 - 10	34 – 36
Depósitos Glaciares (Cimentación)	Mohr-Coulomb	19,5	15	30 – 32
Basamento (Granodiorita)	Generalized Hoek-Brown	26,5	Variable (GSI)	Variable
Depósitos de Bofedal (Orgánico)	Mohr-Coulomb	16	10	18 – 22

Fuente: Elaboración propia, basada en los ensayos de laboratorio (Corte Directo y Triaxial) y el logueo geomecánico del sondaje DDHPLM26001 (2026).

De acuerdo a la información existente y a la información generada, el Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón se encuentra yaciendo sobre horizontes de suelos morrénicos o glaciales (gruesos) en condición húmeda.

Las propiedades de los materiales se adquirieron mediante la información ya disponible, así como calicatas, pruebas geofísicas y experimentos de laboratorio realizados durante la investigación.

- Se evaluó la condición estática a largo plazo de los materiales en condiciones drenadas, salvo para el talud de corte del vaso del depósito, que al tener un

periodo de exposición corto (menos de un año), se toma para este análisis como condición a corto plazo. Por lo tanto, para esa condición, el factor de seguridad (FS) debe ser superior a 1.3.

- Se estimó que el depósito se desplanta sobre suelos glaciales densos para evaluar la estabilidad en condiciones sísmicas. La aceleración sísmica de 0,155g corresponde al 50% de la aceleración máxima creíble durante un periodo de exposición de 50 años y un periodo de retorno de 475 años, con una probabilidad del 10% de excedencia.
- Se utilizó el método riguroso de Spencer en el programa Slope/w v.2022-1 (Geostudio, 2022) para llevar a cabo el análisis mediante la técnica del equilibrio límite. Este procedimiento posibilitó modelar la configuración sugerida para la sección crítica que se está examinando a través de este software fácil de usar. El cálculo del factor de seguridad 2D se lleva a cabo mediante un análisis bidimensional y aproximado.

Parámetros Geotécnicos

Un resumen de los parámetros geotécnicos utilizados en el análisis se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 33. *Resumen de Parámetros Geotécnicos Utilizados*

Unidad Geotécnica	□ **(kN/m³)**	**Parámetros en Términos de Esfuerzos Totales**		**Parámetros en Términos de Esfuerzos Efectivos**	
		c **(kPa)**	***ϕ*** **(°)**	***c′*** **(kPa)**	***ϕ’*** **(°)**
Enrocado	24,0	-	-	*	*
Suelo de Fundación	20,0	-	-	5	33
Relaves	16,0	*Su* = 20,0	0		
Gaviones	23,0	-	-	17,5	40
Relleno Estructural	23,0	-	-	5	35
Basamento Rocoso *	26,0	-	-	**	**

Notas:

□: Densidad

c: Cohesión

ϕ : Ángulo de fricción

Su : Resistencia al corte no drenado.

* : Ver Tabla 26

** : El basamento rocoso intrusivo granodiorítico se considera de resistencia infinita.

Modelo Geotécnico

El modelo geotécnico emplea un modelo constitutivo Mohr-Coulomb, tomando en cuenta las condiciones de la fundación del depósito y las características mecánicas de las unidades geotécnicas que lo integran. Igualmente, este modelo no tiene en cuenta la localización de una napa freática porque los análisis de tomografía eléctrica no muestran que la napa freática esté presente de manera continua en los terrenos de cimentación de la estructura. Además, se incluye el modelo geotécnico empleado para examinar la estabilidad física de la sección crítica A-A del Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón.

Resultados Obtenidos

Un resumen de los hallazgos de las evaluaciones de estabilidad de taludes realizadas en la sección crítica del Depósito de Relaves Zona Ramos Balcón se presenta en la Tabla 33. Estos análisis consideran el estado de la estructura a corto y largo plazo.

Tabla 34. *Resultados Estudio de Estabilidad de Taludes*

Sección Crítica	**Superficie de Falla**	**Condición**	**Sec**	**Estático**	**Pseudo Estático (ag = 0,155)**	**Figuras**
A-A	Circular	Largo Plazo	Dique de Contención	1,766	1,263	Figuras 8.3 y 8.4 del Anexo VII
	Bloque	Largo Plazo	Sistema Terrame	9,248	5,109	Figuras 8.5 y 8.6 del Anexo VII
	Circular	Corto Plazo	Talud del	1,335	-	Figura 8.7 del Anexo VII

Los factores de seguridad (FS) del estanque de relaves de Ramos Balcón, tanto en situaciones estáticas como sísmicas, y tanto a corto como a largo plazo, son superiores a los valores mínimos sugeridos por las recomendaciones de diseño utilizadas en este estudio.

Según las normas de estabilidad para presas de relaves, el estudio de estabilidad global de la presa de relaves suele indicar que la estructura tiene un factor de seguridad (FS) superior a 1,5 en condiciones estáticas; este resultado se considera suficiente. Sin embargo, el factor de seguridad desciende a aproximadamente 1,28 cuando se incluye el estado sísmico pseudoestático, lo que demuestra la susceptibilidad estructural a las vibraciones y a los cambios en la presión intersticial. El estudio de estabilidad global de una presa de relaves suele mostrar que la estructura tiene un factor de seguridad (FS) superior a 1,5 en condiciones estáticas, lo cual se considera aceptable según las directrices de estabilidad para presas de relaves. Sin embargo, cuando se tiene en cuenta el estado sísmico pseudoestático, el factor de seguridad desciende hasta aproximadamente 1,28, lo que indica la vulnerabilidad de la estructura ante las vibraciones y las variaciones de la presión intersticial.En resumen, estos hallazgos sugieren que la estabilidad física del vaso es tolerable bajo condiciones normales, pero podría ser crítica en situaciones de sismos o saturación. Por tanto, se aconseja reforzar el sistema de drenaje, incrementar la red de instrumentación (piezómetros) y llevar a cabo análisis dinámicos adicionales con parámetros efectivos drenados. En caso de posibles fallos provocados por la licuefacción o por deslizamientos internos, esto garantizará que el embalse mantenga márgenes de seguridad suficientes y funcione de manera estable.

Análisis de Estabilidad

Para evaluar la estabilidad se tuvieron en cuenta los datos topográficos más recientes, la ubicación del nivel freático en el peor de los casos y los resultados de los análisis de mecánica de suelos.

La estabilidad física del embalse de residuos de pulpa de Ramos Balcón se evaluó mediante el método de equilibrio límite. En este sentido, se utilizaron ensayos de laboratorio para evaluar la resistencia y las características físicas del material que conformaba la presa.

A pesar de sus limitaciones a la hora de explicar el comportamiento de las fuerzas en una presa de relaves, el enfoque de equilibrio límite resulta útil, ya que tiene en cuenta una variedad de situaciones, entre ellas la estratigrafía, la presión intersticial, la geometría superficial de las fallas y diversos tipos de suelo. Examina la resistencia del talud al deslizamiento bajo tensiones dinámicas monótonas, tanto estáticas como pseudoestáticas.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos proporcionó el factor de seguridad mínimo para una pendiente estable en escenarios estáticos y pseudoestáticos, mientras que la FEMA (2005) estableció los criterios de diseño en su investigación titulada «Análisis sísmicos y diseño de presas».

Tabla 35. *Resumen de parámetros*

Componente	Peso unitario (kN/m³)	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción φ (°)	Modelo usado
Relleno estructural (material de dique)	23	5 (efectiva)	35° (efectiva)	Mohr-Coulomb.
Enrocado	24	— (función)	— (función)	Shear/Normal (función para enrocado).
Suelo de fundación	20	5 (efectiva)	33° (efectiva)	Mohr-Coulomb.
Relaves (pulpa)	16	20 (total, condición no drenada)	φ = 0 (undrained model)	Undrained (Phi=0), cohesion total usada.
Gaviones	23	17.5 (efectiva)	40° (efectiva)	Mohr-Coulomb.
Basamento rocoso	—	—	—	Bedrock (impenetrable).

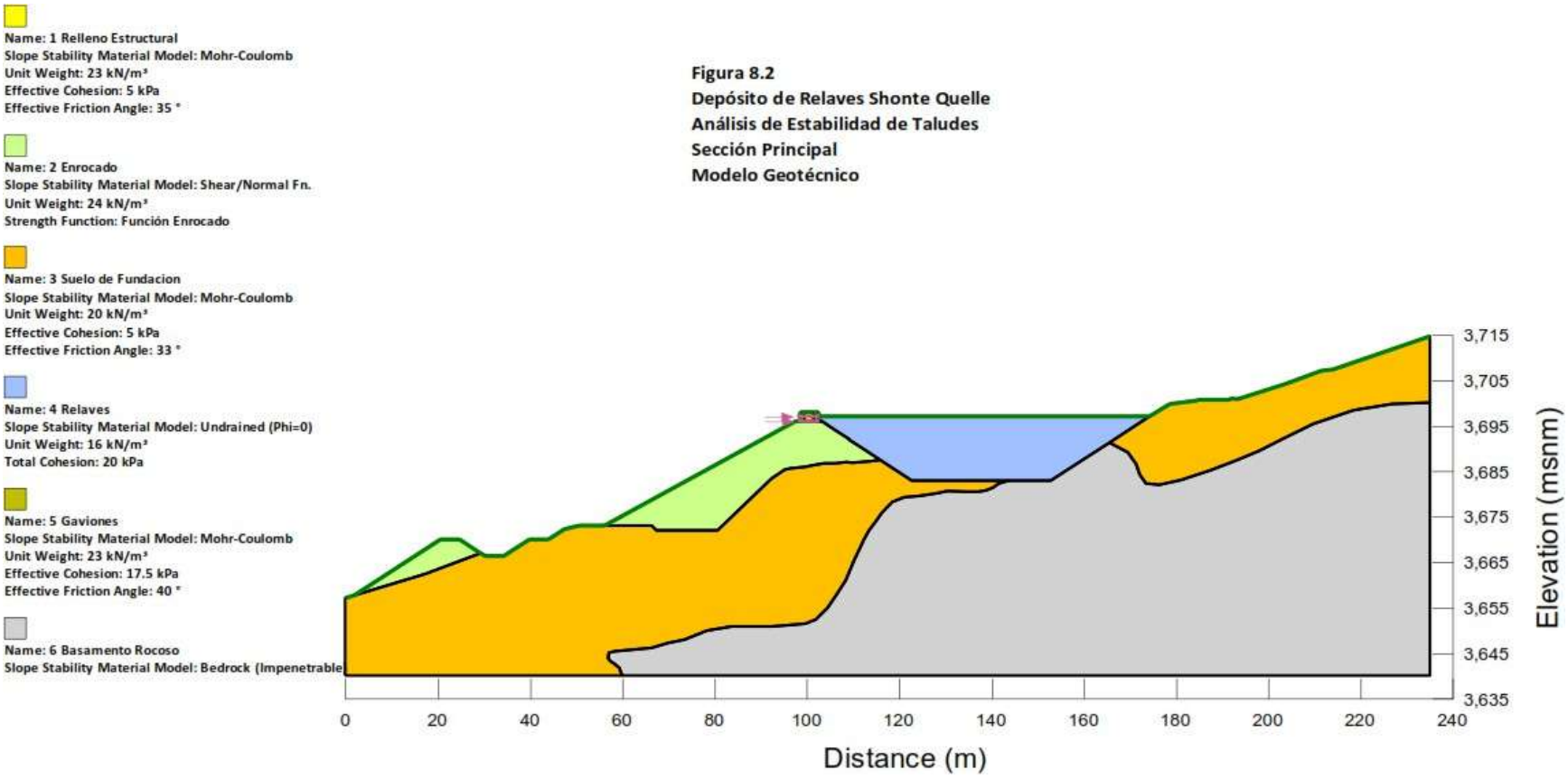
Fuente: Informe de Ensayos de Mecánica de Suelos y Relaves - Proyecto Ramos Balcón (SUNEC). Realizado bajo normas ASTM (D2487 para clasificación y D3080/D4767 para corte directo/triaxial).

Interpretación y sus implicancias para la estabilidad física

a) Relleno estructural: c = 5 kPa; φ = 35°

Significado: φ = 35° es un valor relativamente bueno para materiales granulares correctamente compactados; indica que el material resiste por rozamiento entre partículas. La cohesión efectiva de 5 kPa es baja, lo habitual en rellenos granulares donde la resistencia principal viene dada por φ y la compactación.

Figura 4. *Componente relleno estructural*



Implicancia para estabilidad

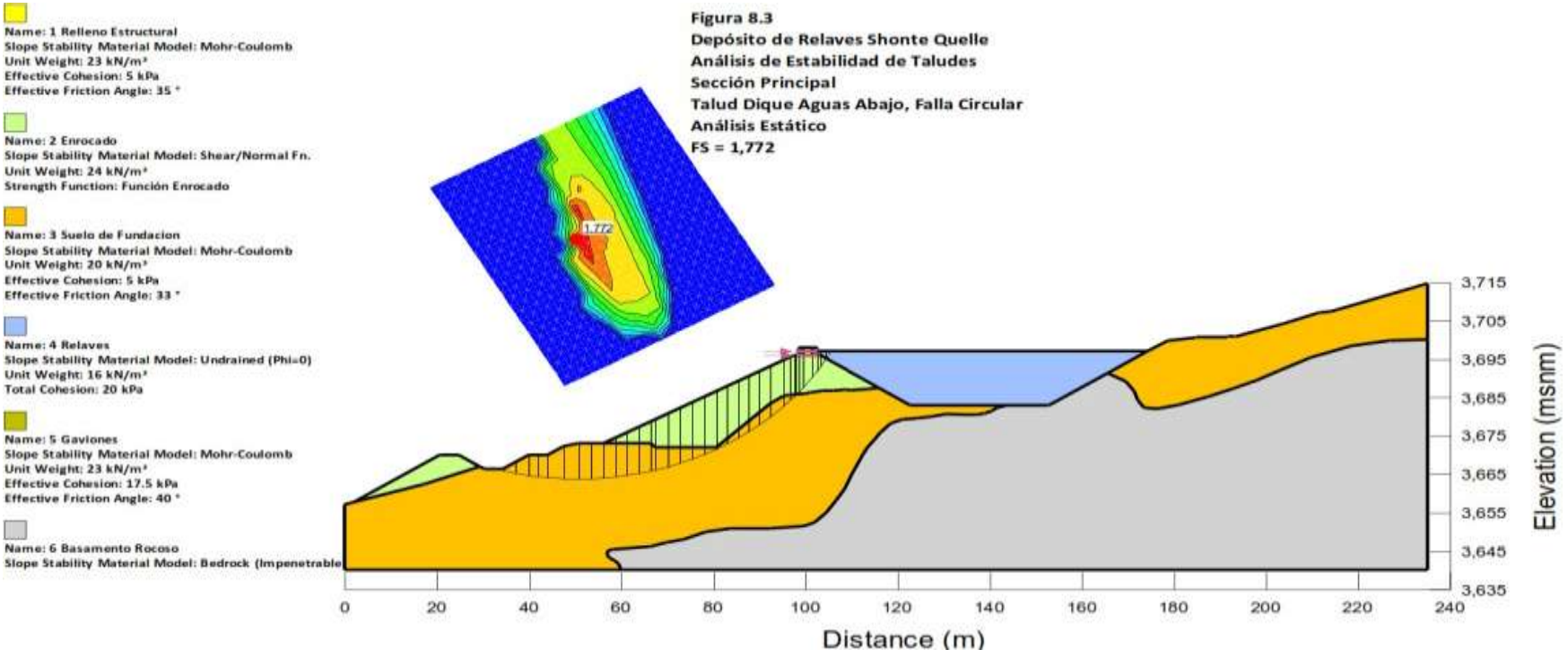
Según los datos proporcionados, la resistencia por fricción será el principal factor que regule la estabilidad en condiciones de drenaje si la compactación supera el 90 % (Proctor modificado). Sin embargo, una baja cohesión implica que la resistencia disminuye y que el talud puede acercarse a condiciones críticas a medida que aumenta la presión intersticial (saturación).

b) Enrocado: modelo por función (propiedades altas esperadas)

Significado: El enrocado no se modeló con c/φ constantes sino con una función de resistencia típica para mampostería/enrocados; en la práctica el enrocado aporta gran fricción y permeabilidad, actuando como elemento de estabilidad y drenaje.

Implicancia: Las zonas con enrocado tendrán mayor capacidad de disipar energía y menor susceptibilidad a fallas por saturación; se usan frecuentemente como protección de taludes y coronas.

Figura 5. *Componente Enrocado*

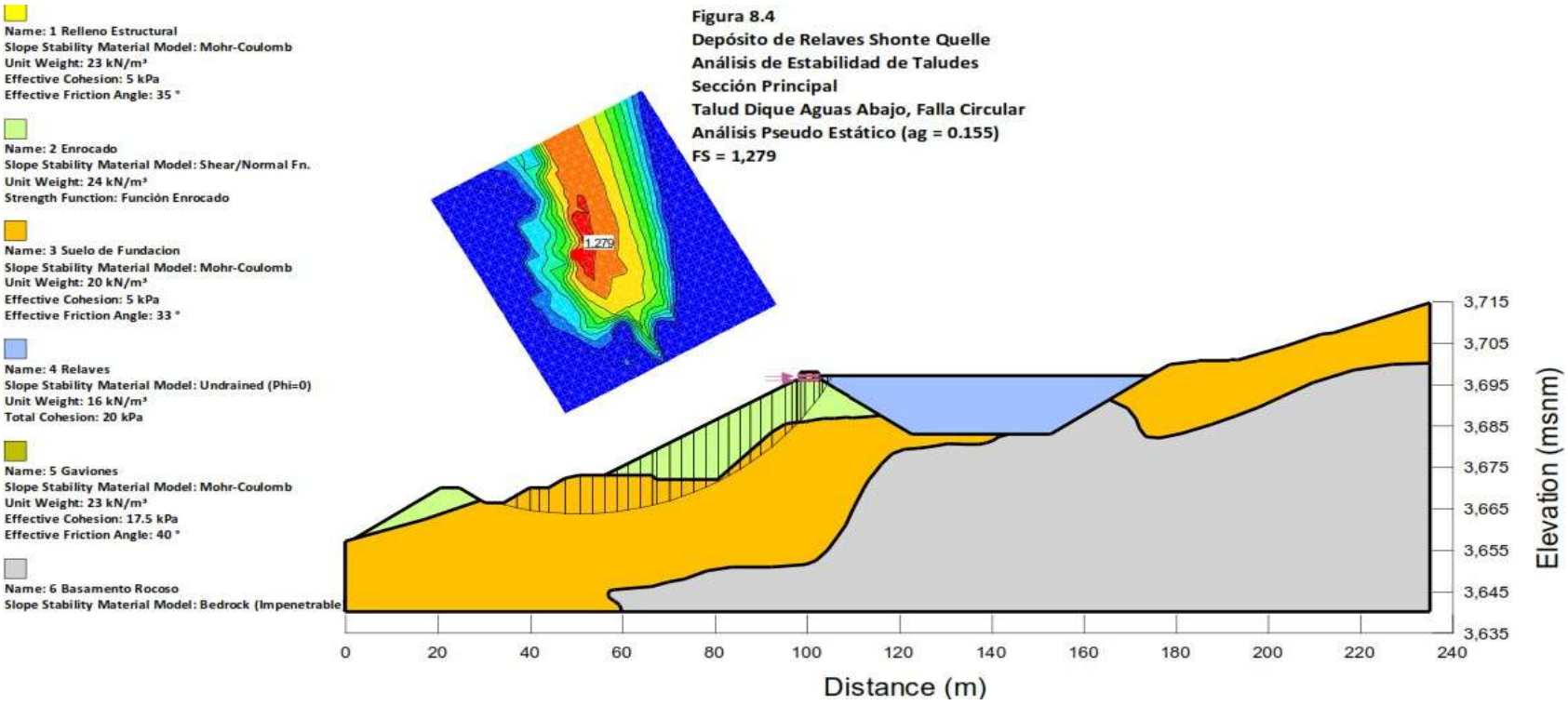


c) Suelo de fundación: c = 5 kPa; φ = 33°

Significado: Valores semejantes a un suelo granular firme pero no rocoso; la cohesión baja y φ moderado implican resistencia razonable en condiciones drenadas.

Implicancia: Como fundación está sobre afloramiento rocoso en muchas partes (según el informe geofísico), la interacción fundación-diques será favorable; sin embargo, si existen sectores con material más débil o agua, la capacidad portante local puede reducirse.

Figura 6. *Componente suelo de fundación*



d) Relaves: c total = 20 kPa; φ = 0° (modelo no drenado)

Significado crítica: El modelo usado para relaves es undrained (φ = 0 en cortoplazo) y se considera una cohesión total de 20 kPa. Eso es típico cuando los relaves se modelan en condiciones saturadas o con comportamiento undrained: la resistencia se expresa como una “cohesión aparente” por tensiones no drenadas.

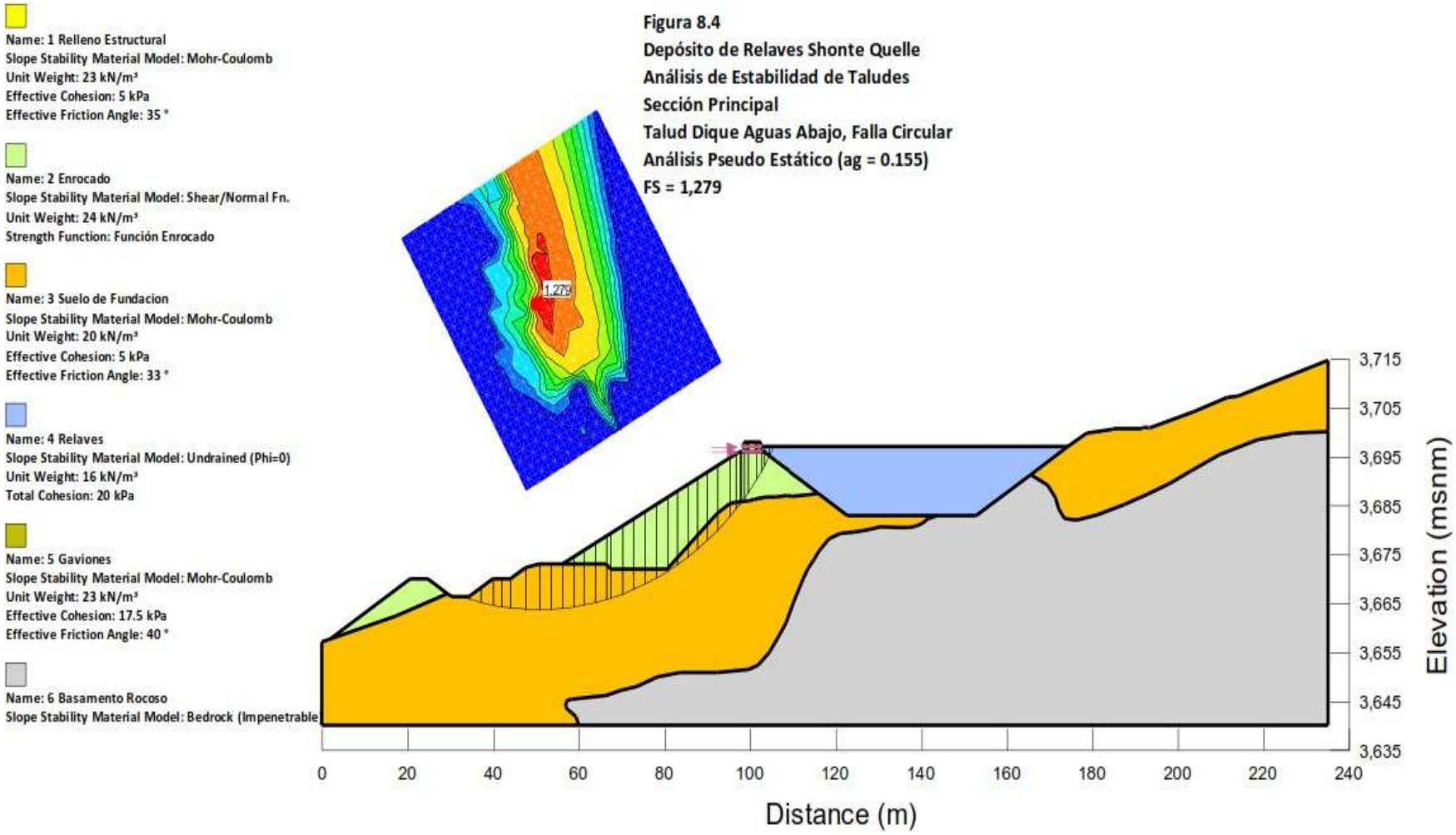
Implicancia para estabilidad:

Corto plazo / condición no drenada: Los relaves pueden aparentar resistencia (c_total=20 kPa) que ayuda a la estabilidad inmediata.

Largo plazo / drenaje: Si el material puede drenarse y consolidarse, la resistencia por fricción (φ) y la cohesión efectiva deberían evaluarse; modelar relaves como φ=0 limita predicciones a condiciones no drenadas.

Riesgo mayor: Los relaves saturados son susceptibles a pérdida rápida de resistencia (licuefacción) si se incrementa presión de poros por ejemplo por lluvia, infiltración o sismo. Por eso la instrumentación y el drenaje son críticos.

Figura 7. *Componente relaves*



e) Gaviones: c = 17.5 kPa; φ = 40°

Significado: Valores altos de φ (40°) y cohesión moderada indican un material con gran fricción y buen drenaje (estructura granular abierta). Los gaviones funcionan bien como protección de taludes y disipación de energía.

Implicancia: Áreas con gaviones aportan estabilidad local; su permeabilidad ayuda a reducir presiones de poro en la base del talud.

Relación con los factores de seguridad reportados. En el mismo anexo se muestran factores de seguridad calculados con estos parámetros: por ejemplo FS estático ≈ 1.772 (talud aguas abajo), FS pseudo-estático ≈1.279 (para ag = 0.155) y FS corto plazo del vaso ≈ 1.391. Estos FS reflejan que:

En condiciones estáticas el diseño tiene un margen (FS > 1.5).

En condición sísmica pseudo-estática el FS baja y se acerca a valores marginales (< 1.3), lo que evidencia la sensibilidad a efectos sísmicos y la importancia de controlar presión de poros.

Figura 8. *Componente gaviones*

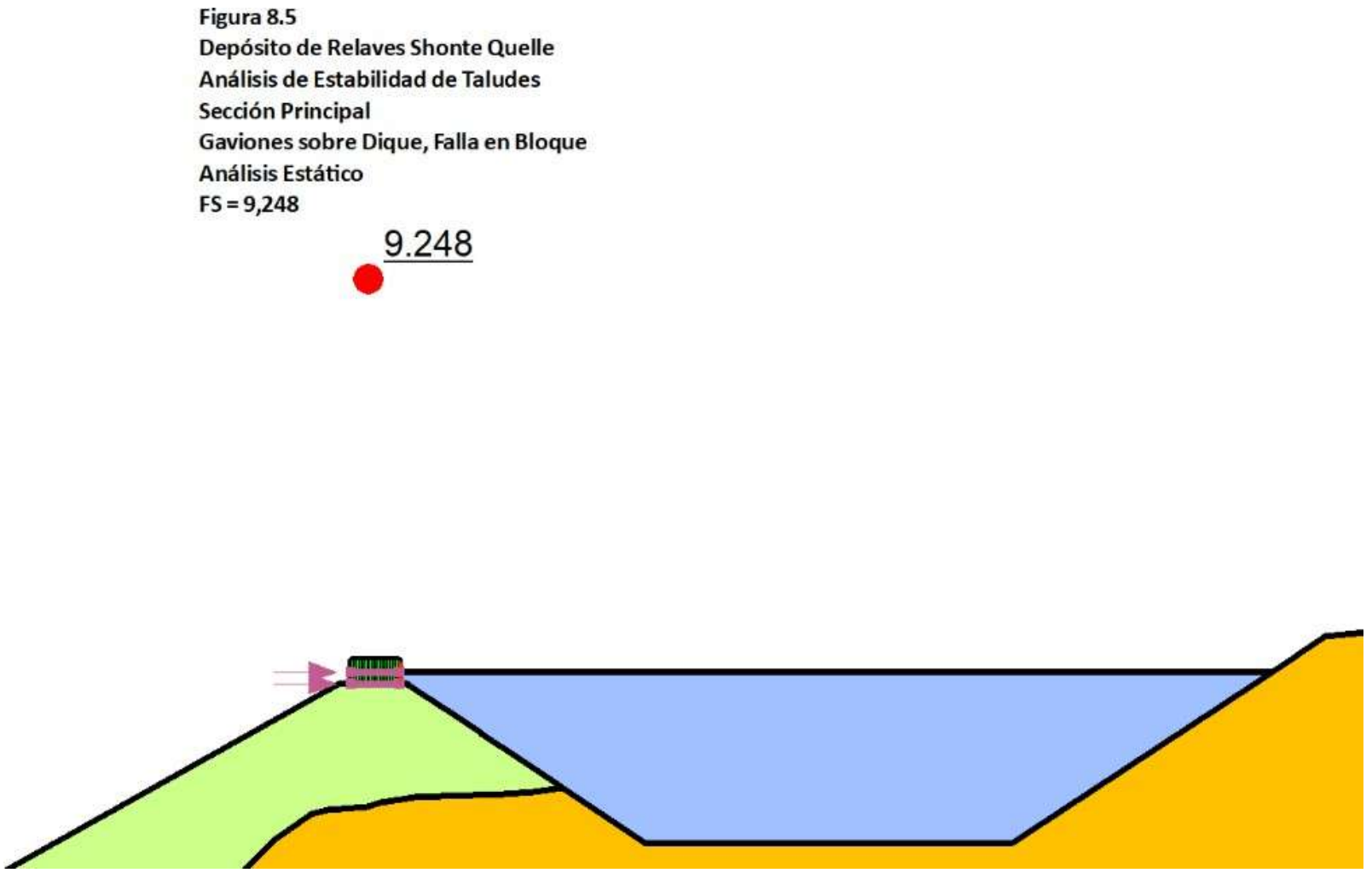


Figura 9. *Análisis pseudoestático*

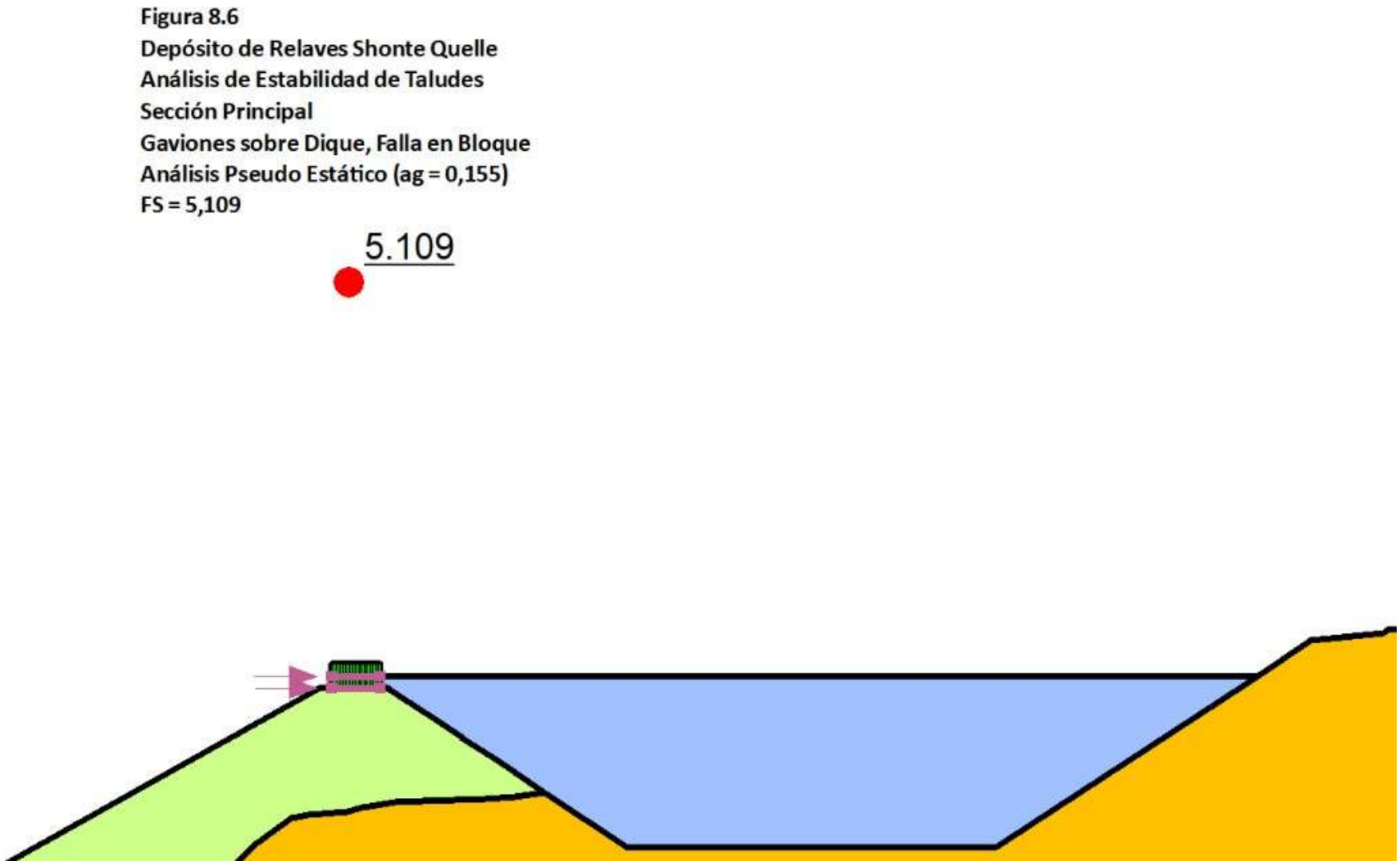
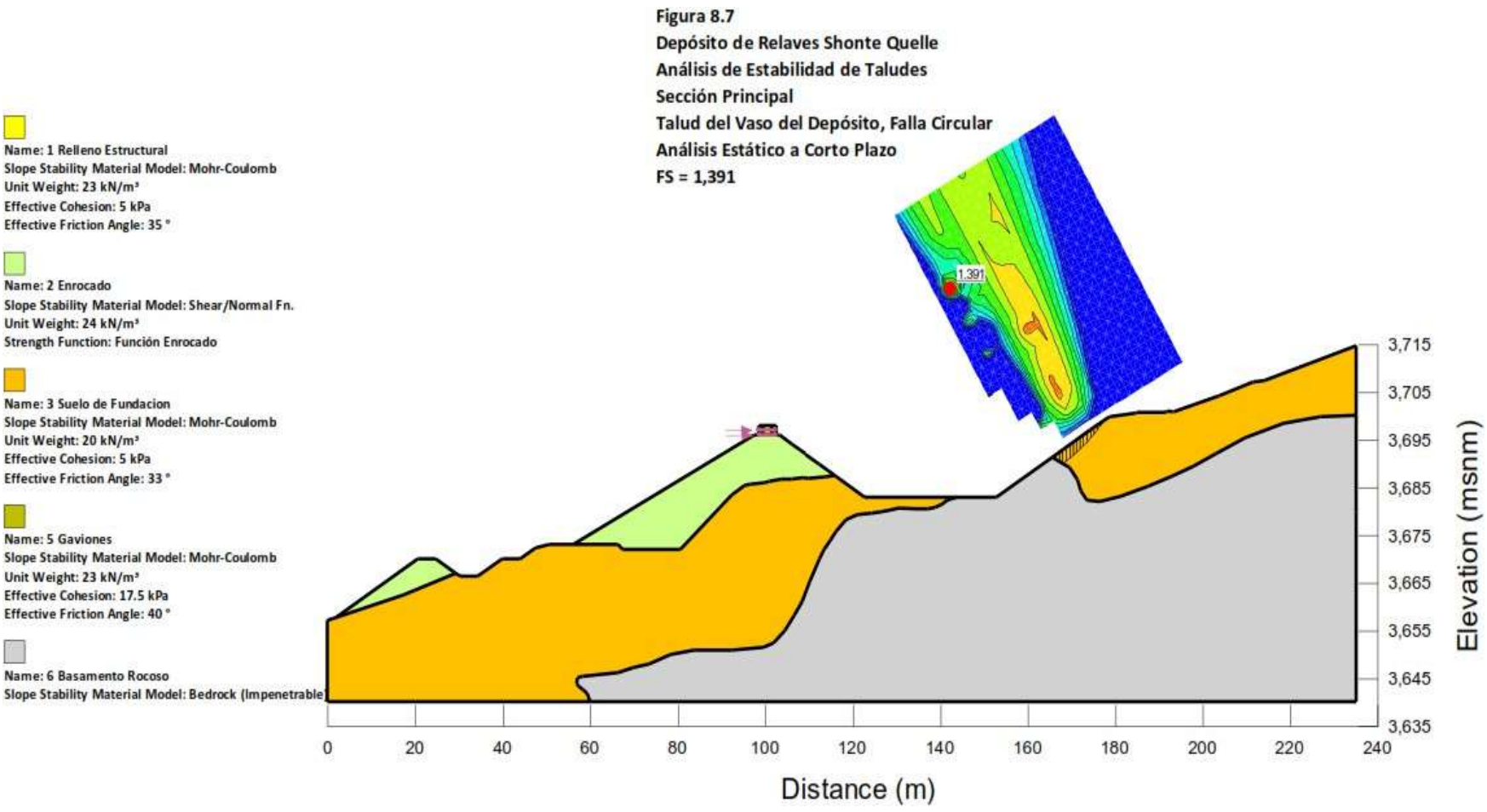


Figura 10. *Análisis estático a corto plazo*



4.3. Prueba de hipótesis

Hipótesis específica 1

La caracterización geomecánica y geotécnica detallada del vaso y el cuerpo del depósito de relaves en Pulpa Ramos Balcón influye significativamente en la precisión del análisis de estabilidad física, permitiendo garantizar la integridad estructural y la operatividad segura de la unidad minera SUNEC.

Para validar esta hipótesis, se incorporaron los resultados de dos campañas de investigación (2022-2023) que abarcaron once (11) calicatas y el registro geomecánico del sondeo DDHPLM26001 (71.05 m). Esta base de datos posibilitó la determinación de parámetros esenciales: el contenido de humedad, la densidad seca máxima, el peso unitario, la cohesión (c), el ángulo de fricción (φ) y la localización del nivel freático a través del piezómetro PZ-1.

Para equilibrar fuerzas y momentos en los datos adquiridos, que fueron procesados con el programa Slope/W 2022.1 de GeoStudio, se utilizó la técnica de Spencer. Estos valores se contrastaron con los definidos por la literatura especializada, así como con los establecidos por las guías del Ministerio de Energía y Minas (2021), en cuanto a rangos geotécnicos y normativos.

Según los hallazgos del modelamiento, el relleno estructural del dique, hecho de material granular que ha sido compactado y seleccionado hasta un 95% del Proctor Modificado, tiene un ángulo de fricción de 35° y una cohesión efectiva de 5 kPa. Esto garantiza una competencia apropiada en condiciones drenadas.

Los relaves, por su parte, muestran un comportamiento no drenado (c=20 kPa, ϕ=0°), lo que los convierte en el material crítico cuando la presión de los poros aumenta. El estudio también tuvo en cuenta la sismicidad de la Zona 2 (Oxapampa), empleando un coeficiente sísmico pseudo-estático de 0.155, que equivale al 50% del PGA de 0.309 g. De acuerdo con la Guía del Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2021), en estas circunstancias: FS debe ser mayor o igual a 1.5 para la situación estática a largo plazo y mayor o igual a 1.1 para la situación pseudoestática.

La hipótesis 1 es aceptada porque, gracias a que se definieron de manera exacta las características geotécnicas, fue posible llevar a cabo un análisis exhaustivo de la estabilidad física del depósito y detectar los parámetros críticos que determinan su comportamiento estructural. Esta información es la base técnica para planear, supervisar y operar de manera segura el depósito de relaves Pulpa Ramos Balcón.

Hipótesis específica 2

La estabilidad del depósito de relaves en Pulpa Ramos Balcón de la compañía minera SUNEC, frente a deslizamientos internos o licuación, es un factor importante para el estudio de su estabilidad física, lo que garantiza una operación segura para la empresa.

Con el fin de verificar esta hipótesis, se llevó a cabo un análisis de estabilidad global con el programa Slope/W 2022.1 de GeoStudio, utilizando el método de equilibrio límite de Spencer. Los parámetros geomecánicos de los relaves ($\phi = 0°$, $c = 20$ kPa) y del material de préstamo del dique fueron incorporados, analizando la conducta estructural en tres situaciones críticas:

Condición Estática: Régimen de operación normal con drenaje operativo.

Condición Pseudo-estática: Aplicando un coeficiente sísmico de 0.155 (Zona 2, Oxapampa).

Condición de Saturación: Simulando el incremento de presiones de poros por posibles deficiencias en el sistema de subdrenaje.

Los resultados arrojaron un FS estático de 1.77, lo cual indica una condición de alta estabilidad en régimen normal. Bajo solicitación sísmica, el FS pseudo-estático se situó en 1.28. Si bien este valor representa un descenso respecto al caso estático debido al comportamiento no drenado de los relaves, se encuentra por encima del límite mínimo de 1.10 exigido por el Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2021) y el D.S. 024-2016-EM. No obstante, el análisis identificó una sensibilidad moderada ante la saturación de los depósitos glaciares y bofedales del vaso. Por ello, la estabilidad

global se sustenta en el funcionamiento del sistema de subdrenaje (tuberías de HDPE corrugado) y el refuerzo de los gaviones, los cuales previenen la degradación de la resistencia al corte por exceso de presiones intersticiales.

La Hipótesis 2 es aceptada porque, al examinar la estabilidad global en relación con deslizamientos internos y licuación, se pudieron reconocer los mecanismos de falla posibles y confirmar los márgenes de seguridad estructurales. Se ha verificado técnicamente que, a pesar de que el depósito es estable, la seguridad operativa está sujeta estrictamente al control piezométrico continuo (PZ-1) y a la vigilancia de movimientos laterales (IN-1). Esta información técnica es el fundamento del plan de gestión de riesgos y asegura que el depósito Ramos Balcón permanezca estable físicamente frente a sucesos climáticos extremos o sísmicos.

Conclusión general de la prueba de hipótesis

Se confirmó parcialmente las dos hipótesis concretas, lo que evidenció que la evaluación geotécnica integral y el estudio de estabilidad física son instrumentos esenciales para la administración segura de los depósitos de relaves. Los resultados muestran que el depósito Pulpa Ramos Balcón tiene una estabilidad adecuada en condiciones estáticas. No obstante, se debe monitorear su comportamiento sísmico y frente a la saturación, así como tomar medidas preventivas. La hipótesis general que se estableció es confirmada por la investigación, que además proporciona información técnica importante para decidir el mantenimiento y la operación de las estructuras de disposición de relaves.

4.4. Discusión de resultados

La discusión de los resultados contrasta los hallazgos del análisis geotécnico y la evaluación de la estabilidad física del depósito Ramos Balcón con las teorías anteriores y las leyes vigentes, examinando su comportamiento estructural en el interior de la unidad minera SUNEC.

Los resultados del modelamiento en Slope/W 2022.1 demuestran que el depósito presenta condiciones de estabilidad adecuadas en régimen estático,

alcanzando un factor de seguridad (FS) de 1.77, el cual supera ampliamente el valor de 1.50 exigido por el Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2021). Sin embargo, bajo la condición pseudo-estática, el FS desciende a 1.28. A diferencia de lo sugerido por guías internacionales generales que proponen un FS de 1.3, este valor cumple satisfactoriamente con el estándar nacional peruano (FS ≥ 1.1 según el D.S. 024-2016-EM). Esta tendencia respalda lo que han afirmado escritores como Terzaghi y Peck (1967), quienes argumentan que la estabilidad se basa en el balance entre fuerzas de resistencia y de inestabilidad. En Ramos Balcón, la resistencia del relleno granular compactado al 95% del Proctor Modificado (ϕ=35°) es capaz de equilibrar la carga sísmica de 0.155g establecida para la Zona 2 (Oxapampa), lo que permite conservar la estructura dentro de los límites legales de seguridad.

Los resultados concuerdan con Vick (1990) e ICOLD (2013), quienes enfatizan la sensibilidad de los relaves finos ante el incremento de presiones intersticiales. El comportamiento no drenado identificado (ϕ=0°, c=20 kPa) subraya la importancia crítica del sistema de subdrenaje de HDPE corrugado. La integración de gaviones tipo caja en el diseño actúa como un elemento de refuerzo que mitiga los riesgos de deslizamientos internos en las zonas de bofedal y depósitos glaciares identificadas en las calicatas y el sondaje DDHPLM26001 (71.05 m).

Los ensayos de laboratorio confirman una textura limo-arenosa que, bajo un control de compactación estricto (95%), incrementa la compacidad relativa, coincidiendo con lo planteado por Craig (2014) y Das (2016). No obstante, la saturación observada en sectores de la base del talud aguas abajo resalta la necesidad de mantener el drenaje operativo para evitar la reducción de la resistencia efectiva, tal como advierten Hyndman y Drnevich (2009).

La validación del modelo teórico se sustenta en la instrumentación instalada. Las lecturas de los piezómetros (PZ-1) e inclinómetros (IN-1) son fundamentales para detectar variaciones en la presión de poros o movimientos diferenciales. Este enfoque coincide con Blight (2010), quien sostiene que la instrumentación permite prevenir

fallas catastróficas mediante el contraste en tiempo real de los datos de campo con el modelo de equilibrio límite.

En comparación con estudios en la sierra central (Cortéz, 2020), los resultados en Ramos Balcón evidencian un patrón similar de estabilidad en condiciones normales, pero con una respuesta sísmica que depende directamente del control de la línea freática. En conclusión, la investigación valida la necesidad de integrar parámetros geomecánicos rigurosos y análisis numéricos avanzados en Slope/W. La supervisión constante, la compactación al 95% y el control del drenaje son los elementos que aseguran una operación segura y la estabilidad física del depósito ante la sismicidad media de Pasco y Oxapampa; esto confirma que la gestión preventiva es tan esencial como el diseño estructural inicial.

CONCLUSIONES

1. La fundación del depósito Ramos Balcón, que consta de tres capas (03) definidas, se establece a partir de la interpretación de los sondeos MASW y los ensayos de refracción sísmica (LRS): Depósitos morrénicos de densidad intermedia a alta, depósitos de baja competencia en los ríos y en la intrusión del basamento rocoso (PE-grd), que se detectó a través del sondeo DDHPLM26001 (71.05 m). Esta estratigrafía asegura un cimiento firme que reduce la posibilidad de asentamientos diferenciales en el cuerpo del dique.
2. Según los ensayos de tomografía eléctrica, en el área del depósito no existe una napa freática ininterrumpida, sino únicamente bolsones de humedad superficial generados por la escorrentía estacional. Así pues, la valoración de la estabilidad física se fundamenta en los parámetros de esfuerzos efectivos (drenados) aplicados al dique y a la base. No obstante, en el caso de los relaves de clasificación SUCS: Conservadoramente se ha determinado una resistencia no drenada (Su = 20 kPa) para las gravas arcillosas, mal gradadas con limos, arcillosas y arenas, que presentan una saturación extrema y son blandas. Esto se ve mitigado por el sistema de subdrenaje de HDPE. Los parámetros geotécnicos referidos a esfuerzos efectivos para el suelo de cimentación son 5 kPa.
3. El dique de contención, que en este momento se está construyendo, utiliza relleno estructural (Unidad V) junto con material de enrocado granodiorítico (Unidad I), los cuales están dispuestos en capas de 0.50 m. Con el control en el campo se logra una compactación del 95% del Proctor Modificado, alcanzando una densidad total de 20.0 kN/m3 y un ángulo de fricción que fluctúa entre los 33° y 35°. Las unidades geotécnicas que se describen a continuación fueron establecidas mediante la caracterización geotécnica del área de estudio: Relleno de enrocado, suelo de fundación, relleno estructural, relaves y gaviones.
4. Según lo indicado en la Tabla 2 (Resumen de Aceleraciones), se ha fijado un riesgo sísmico medio para la Zona 2, Oxapampa, con una PGA de 0.309g y un periodo de retorno de 475 años. Para el análisis pseudo-estático en Slope/W, se empleó un

coeficiente sísmico (Kh) de 0.155, que es la mitad de la aceleración máxima esperada. Esta norma permite verificar que el dique en construcción tiene una reserva de resistencia suficiente para soportar deformaciones dinámicas sin experimentar fallas incipientes.

5. Los factores de seguridad obtenidos a partir de los análisis de estabilidad en la sección crítica A-A (altura máxima) confirman el diseño geotécnico y civil (consulte las tablas 9 y 12). Los resultados se sintetizan como sigue:
    - Condición estática (largo plazo): La fricción elevada del enrocado y la eliminación de la capa superior orgánica han permitido que el FS obtenido exceda el mínimo requerido de 1.50
    - Condición pseudoestática: El FS permanece mayor a 1.10, lo que confirma la estabilidad general del dique y el vaso frente al sismo de diseño.
6. La supervisión preventiva determina la estabilidad física. Los datos del piezómetro (PZ-1) y de los hitos topográficos (HT-1, HT-2) deben ser comparados cada mes con el modelo de equilibrio límite que se presenta en esta tesis. Las lecturas recientes verifican que el dique actúa como una estructura densa y competente, lo cual coincide con las predicciones del estudio de estabilidad global.

RECOMENDACIONES

1. Los ensayos de tomografía eléctrica efectuados sugieren que en las reservas morrénicas que fundan el depósito de relaves no existe una capa freática continua capaz de debilitar estos suelos areno limosos con gravas a gravas arcillosas. Esto se debe a la pronunciada pendiente que rige la geografía del área y a la matriz fina de escasa permeabilidad de dichos depósitos. Por lo tanto, se aconseja que las plataformas construidas en el área cuenten con un sistema de drenaje superficial apropiado que evite la acumulación de agua en la superficie.
2. Se aconseja que los materiales de relleno usados sean enrocados, debido al régimen de lluvias en el área del Proyecto Zona Ramos Balcón, para que puedan trabajar durante las lluvias y tengan una gran capacidad como estructuras de contención, como bermas, diques, etc.
3. Para el siguiente nivel de ingeniería, se sugiere comprobar las condiciones de los materiales mediante ensayos triaxiales adicionales (ø = 6") y, además, examinar la situación de la fundación profunda principalmente en la zona de desplante del dique que retiene el depósito por medio de perforaciones geotécnicas y pruebas in situ.
4. Instalar un pluviómetro en la unidad minera para contar con datos precisos para el diseño hidráulico, debido a la distancia de las estaciones meteorológicas del SENAMHI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre Ramos, R.E. (2020). *Análisis de estabilidad física del depósito de relaves N° 5 de Minera Titán del Perú S.R.L.* Universidad Nacional de San Agustín. Perú

Avellaneda-Puri, Paulino José, & Avellaneda-Cristóbal, Carmen Judith. (2020). Evaluación de la estabilidad física del depósito integrado de relaves San Andrés (Perú). *Minería y Geología*, *36*(1), 33-49. Epub 31 de marzo de 2020. Recuperado en 14 de julio de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122020000100033&lng=es&tlng=es.

Carvajal Arroyo, M. I. (2018). *Desarrollo de una metodología para análisis de estabilidad física de depósitos de relaves* (Memoria para optar al título de Ingeniera Civil). Universidad de Chile. Chile

Coduto, D. P., Kitch, W. A., & Yeung, M. R. (2016). *Foundation Design: Principles and Practices* (3rd ed.). Pearson.

Das, B. M. (2016). *Principles of Foundation Engineering* (9th ed.). Cengage Learning.

Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. John Wiley & Sons.

Engineering Geology, Volume 331, 2024, 107412, ISSN 0013-7952, https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S00137952240001 03

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente*. Perú.

Morgenstern, N. R. (2012). Geotechnical engineering and tailings dams.

Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, *43*(1), 1-13. Parsa Alizadeh, Manouchehr Latifi (2025). *The study of the factors affecting phreatic line position and stability in upstream tailings dams, Results in Engineering*, Volume 25, 2025, 104092, ISSN 2590-1230,

(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259012302500180X)

Pankaj Kumar, B.V.S. Viswanadham, Studies on the performance of water retention type tailings dams subjected to filling and inertial loading in a geotechnical centrifuge,

Robertson, P. K. (2010). Evaluation of liquefaction potential using CPT and SPT. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *136*(6), 844-853.

Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1970). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division*, *96*(SM9), 1249-1273.

Sampieri, R. H. (2018). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Tasayco Gonzales, E. M. (2020). *Evaluación de la estabilidad física del depósito de relaves*

N° 3 en Arequipa. Universidad Nacional “José Faustino Sánchez Carrión”. Perú.

Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Vick, S. G. (1990). *Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams*. John Wiley & Sons.

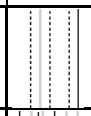
ANEXOS

Tabla 1: Operacionalización de variables e indicadores

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Variable independiente: Evaluación geotécnica del vaso del depósito de relaves en pulpa Ramos Balcón	Las propiedades mecánicas, hidráulicas y físicas de los residuos y del suelo sobre el que se construirá la presa se analizan, miden e investigan como parte de la evaluación geotécnica de la presa de residuos de pulpa de Ramos Balcón. Su objetivo es comprender su comportamiento geomecánico y ofrecer información fiable para evaluar la estabilidad física de la presa. Se trata de la «acción» o «aportación» principal de su investigación. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018)	La evaluación geotécnica del estanque de residuos de pulpa de Ramos Balcón incluye tanto ensayos de laboratorio como investigaciones de campo. Entre los parámetros geotécnicos cuantificables que pueden determinarse como resultado de esta evaluación se encuentran el ángulo de fricción interna, la cohesión, la presión intersticial, la permeabilidad, la densidad y los límites de consistencia. La estabilidad física del estanque se analiza utilizando estos parámetros como datos preliminares.	Características físicas	Granulome tría Límites de Atterberg Contenido de humedad Densidad	Registro de estructuras y características geotécnicas Ensayo granulométrico Ensayos de Atterberg Ensayo de humedad Ensayo de densidad Equipos de laboratorio estandarizados Registro de Monitoreo
			Características hidráulicas	Permeabili dad Presión de poros	Ensayo de permeabilidad Piezómetros / análisis hidro geotécnico
			Características mecánicas	Cohesión (c) Ángulo de fricción interna (φ) Resistencia al corte	Ensayo de corte directo Ensayo triaxial
			Condición geotécnica del vaso	Estado de saturación Tipo de material	Observación y registro de campo Clasificación SUCS
Variable dependiente: Estabilidad Física del Depósito de Relaves	Alude a la condición de equilibrio del dique principal y del depósito de relaves bajo las cargas impuestas (peso propio, relaves, sismos, etcétera). Es el "resultado" que se intenta examinar y que está influenciado por la evaluación geotécnica. (Das, 2016).	Alude al grado de resistencia y seguridad del vaso del Depósito de Relaves en Pulpa frente a posibles fallas debidas a cortes, deformaciones excesivas o reducción de la capacidad de soporte, en diversas situaciones de carga y operación.	Estabilidad Global del Vaso	Resultados de Factor de seguridad	Software de Análisis Geotécnico Slope/w 2022.1 de Geostudio.

	REGISTRO DE CALICATAS	**CALICATA N°** CA-DR-01 ***Página 1 de 1***

PROYECTO:	Estudio Geotécnico de la Planta de Beneficio e Ingeniería de Factibilidad del Depósito de Relaves - Proyecto Shonte Quelle	**NORTE (m):** 8,848,469.00	**ESTE (m):** 410,205.00
PROYECTO N°:	P300-175-22-03	**ELEVACIÓN (msnm):** 3679	
UBICACIÓN:	Deposito de Relaves	**DIMENSIONES (m):** 1.30x1.20	
CLIENTE:	PAMPA SONQO E.I.R.L	**CONDICIONES DE LA SUPERFICIE:** NIVELADA	
CONTRATISTA:	-	**NIVEL FREÁ** 1NE	
OPERADOR:	-	**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** 1.30	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL	**FECHA DE EJECUCIÓN:** 10/06/2022	

PROF. (m)	GRÁFICO	SUCS	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	ENSAYOS IN SITU	COMENTARIOS
0.00			**Superficie del terreno**				
0.50		OL	(0.00 a 0.50 m). Suelo organico arenoso, plasticidad baja, consistencia blanda, humedo, marron oscuro, arena de grano fino, grava subredondeada, presencia de boloneria de tamaño maximo 4" del 5% del volumen total .Gravas= 10%, Arenas 35%, Finos= 55%.	-	-	-	-
1.10		ML	(0.50 a 1.10 m) Limo arenoso, plasticidad media, consistencia firme,seca, marron beige, arena de grano fino, gravas subredondeada, presencia de boloneria de tamaño maximo de 6" del 5% del volumen total. Gravas= 20%, Arena=25%, Fino 55%.	MAG	M-01		
1.30		SM	(1.10 a 1.30 m) Arena limosa, plasticidad baja, compacidad suelta a medianamente densa, seca, gris verdoso, arena de grano medio a grueso, grava subangulosa a subredondeada, presencia de bloques de tamaño maximo de 13" del 10% del volumen total. Gravas= 30%, Arenas= 45% y Finos=25%	MAG	M-02	dc	
3.00			**FIN DE CALICATA (1.30 m)**				
4.00							
5.00							
6.00							

LEYENDA:

TIPO DE MUESTRA

MAG - Muestra alterada grande
MAP - Muestra alterada pequeña
BL - Bloque (Muestra inalterada)
S/M - Sin muestra
CM - California modificado
PAG - Muestra para análisis de agua

ENSAYOS IN SITU

qu - Ensayos con penetrómetro de mano
T - Ensayos con veleta de mano
dc - Ensayo de densidad de campo

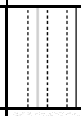
NIVEL DE AGUA Y FUNDACIÓN

NE - No encontrado
Df - Profundidad de fundación sugerido

SIMBOLOGÍA

	REGISTRO DE CALICATAS	**CALICATA N°** CA-DR-02 ***Página 1 de 1***

PROYECTO:	Estudio Geotécnico de la Planta de Beneficio e Ingeniería de Factibilidad del Depósito de Relaves - Proyecto Shonte Quelle	**NORTE (m):** 8,848,442.00	**ESTE (m):** 410,226.00
PROYECTO N°:	P300-175-22-03	**ELEVACIÓN (msnm):** 3699	
UBICACIÓN:	Deposito de Relaves	**DIMENSIONES (m):** 1.30x1.40	
CLIENTE:	PAMPA SONQO E.I.R.L	**CONDICIONES DE LA SUPERFICIE:** NIVELADA	
CONTRATISTA:	-	**NIVEL FREÁ** N.E.	
OPERADOR:	-	**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** 1.40	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL	**FECHA DE EJECUCIÓN:** 10/06/2022	

PROF. (m)	GRÁFICO	SUCS	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	ENSAYOS IN SITU	COMENTARIOS
0.00			**Superficie del terreno**				
0.50		OL	(0.00 a 0.50 m). Suelo organico arenoso, plasticidad baja, consistencia blanda, humedo, marron oscuro, arena de grano fino, grava subangulosa, presencia de grava, tamaño maximo 3".Gravas= 10%, Arenas =35%, Finos =55%.	-	-	-	-
1.10		SP	(0.50 a 1.10 m) Arena con presencia de gravas, compacidad medianamente denso a suelto, humeda, marron rojizo, arena de grano fino a medio, gravas subredondeadas, presencia de bloques de tamaño maximo de 11", del 10% del volumen total. Gravas=30% Arenas=50%, Finos =10%.	MAG	M-01		
1.40		SM	(1.10 a 1.40 m) Arena limosa con grava, compacidad suelta, seca, gris verdoso, arena grano de medio a grueso, grava subangulosa a subredondeada, presencia de boloneria de tamaño maximo de 8", del 5% del volumen total. Gravas= 30%, Arena= 45% y Finos= 25%	MAG	M-02	dc	
3.00			**FIN DE CALICATA (1.40 m)**				
4.00							
5.00							
6.00							

LEYENDA:

TIPO DE MUESTRA

MAG - Muestra alterada grande
MAP - Muestra alterada pequeña
BL - Bloque (Muestra inalterada)
S/M - Sin muestra
CM - California modificado
PAG - Muestra para análisis de agua

ENSAYOS IN SITU

qu - Ensayos con penetrómetro de mano
T - Ensayos con veleta de mano
dc - Ensayo de densidad de campo

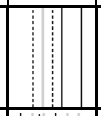
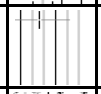
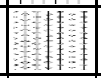
NIVEL DE AGUA Y FUNDACIÓN

NE - No encontrado
Df - Profundidad de fundación sugerido

SIMBOLOGÍA

	REGISTRO DE CALICATAS	**CALICATA N°** CA-DR-03 ***Página 1 de 1***

PROYECTO:	Estudio Geotécnico de la Planta de Beneficio e Ingeniería de Factibilidad del Depósito de Relaves - Proyecto Shonte Quelle	**NORTE (m):** 8,848,442.00	**ESTE (m):** 410,226.00
PROYECTO N°:	P300-175-22-03	**ELEVACIÓN (msnm):** 3699	
UBICACIÓN:	Deposito de Relaves	**DIMENSIONES (m):** 1.00x1.30	
CLIENTE:	PAMPA SONQO E.I.R.L	**CONDICIONES DE LA SUPERFICIE:** NIVELADA	
CONTRATISTA:	-	**NIVEL FREÁ** N.E.	
OPERADOR:	-	**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** 1.10	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL	**FECHA DE EJECUCIÓN:** 10/06/2022	

PROF. (m)	GRÁFICO	SUCS	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	ENSAYOS IN SITU	COMENTARIOS
0.00			**Superficie del terreno**				
0.30		OL	(0.00 a 0.30 m). Suelo organico arenoso, plasticidad baja, consistencia blanda, humedo, marron oscuro, arena de grano fino, grava subredondeada, presencia de boloneria de tamaño maximo 5" del 5% del volumen total. Gravas 10%, Arenas=35%, Finos= 55%.	-	-	-	-
0.80		ML	(0.30 a 0.80 m) Limo arenoso, consistencia firme, plasticidad media, humeda, marron beige, arena de grano fino, gravas subredondeada, presencia de boloneria de tamaño maximo de 8" del 5% del volumen total. Gravas= 15%, Arena=35%, Finos=50%.	MAG	M-01		
1.10		SM	(0.80 a 1.10 m) Arena limosa, plasticidad baja, compacidad suelta a medianamente densa, seca, marron verdoso, arena de grano medio a grueso, grava subangulosa, presencia de boloneria de tamaño maximo de 8", del 10% del volumen total. Gravas= 15 %, Arenas=50% y Finos 35%.	MAG	M-02	dc	
3.00			**FIN DE CALICATA (1.10 m)**				
4.00							
5.00							
6.00							

LEYENDA:

TIPO DE MUESTRA

MAG - Muestra alterada grande
MAP - Muestra alterada pequeña
BL - Bloque (Muestra inalterada)
S/M - Sin muestra
CM - California modificado
PAG - Muestra para análisis de agua

ENSAYOS IN SITU

qu - Ensayos con penetrómetro de mano
T - Ensayos con veleta de mano
dc - Ensayo de densidad de campo

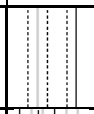
NIVEL DE AGUA Y FUNDACIÓN

NE - No encontrado
Df - Profundidad de fundación sugerido

SIMBOLOGÍA

	REGISTRO DE CALICATAS	**CALICATA N°** CA-DR-04 *Página 1 de 1*

PROYECTO:	Estudio Geotécnico de la Planta de Beneficio e Ingeniería de Factibilidad del Depósito de Relaves - Proyecto Shonte Quelle	**NORTE (m):** 8,848,499.00	**ESTE (m):** 410,248.00
PROYECTO N°:	P300-175-22-03	**ELEVACIÓN (msnm):** 3696	
UBICACIÓN:	Deposito de Relaves	**DIMENSIONES (m):** 1.00x1.10	
CLIENTE:	PAMPA SONQO E.I.R.L	**CONDICIONES DE LA SUPERFICIE:** NIVELADA	
CONTRATISTA:	-	**NIVEL FREÁ** N.E.	
OPERADOR:	-	**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** 1.40	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL	**FECHA DE EJECUCIÓN:** 10/06/2022	

PROF. (m)	GRÁFICO	SUCS	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	ENSAYOS IN SITU	COMENTARIOS
0.00			**Superficie del terreno**				
0.70		OL	(0.00 a 0.70 m). Suelo organico arenoso, plasticidad baja, consistencia blanda, humedo, marron oscuro, arena de grano fino, grava subredondeada, presencia de boloneria de tamaño maximo 7" del 5% del volumen total. Gravas 10%, Arenas=35%, Finos= 55%.	-	-	-	-
1.20		ML	(0.70 a 1.20 m) Limo arenoso, consistencia firme, plasticidad media, humeda, marron beige, arena de grano fino, gravas subredondeada, presencia de boloneria de tamaño maximo de 8" del 5% del volumen total. Gravas= 15%, Arena=35%, Finos=50%.	MAG	M-01		
1.40		CH	(1.20 a 1.40 m) Arcilla limosa, plasticidad media a alta, consistencia firme, muy humeda, gris verdoso, arena de grano fino, grava subangulosa, presencia de boloneria de tamaño maximo de 8", del 10% del volumen total. Gravas= 15 %, Arenas=35% y Finos 60%.	MAG	M-02	dc	
3.00			**FIN DE CALICATA (1.40 m)**				
4.00							
5.00							
6.00							

LEYENDA:

TIPO DE MUESTRA

MAG - Muestra alterada grande
MAP - Muestra alterada pequeña
BL - Bloque (Muestra inalterada)
S/M - Sin muestra
CM - California modificado
PAG - Muestra para análisis de agua

ENSAYOS IN SITU

qu - Ensayos con penetrómetro de mano
T - Ensayos con veleta de mano
dc - Ensayo de densidad de campo

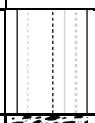
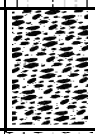
NIVEL DE AGUA Y FUNDACIÓN

NE - No encontrado
Df - Profundidad de fundación sugerido

SIMBOLOGÍA

	REGISTRO DE CALICATAS	**CALICATA N°** CA-DR-05 ***Página 1 de 1***

PROYECTO:	Estudio Geotécnico de la Planta de Beneficio e Ingeniería de Factibilidad del Depósito de Relaves - Proyecto Shonte Quelle	**NORTE (m):** 8,848,352.00	**ESTE (m):** 410,289.00
PROYECTO N°:	P300-175-22-03	**ELEVACIÓN (msnm):** 3714	
UBICACIÓN:	Deposito de Relaves	**DIMENSIONES (m):** 1.20x0.80	
CLIENTE:	PAMPA SONQO E.I.R.L	**CONDICIONES DE LA SUPERFICIE:** NIVELADA	
CONTRATISTA:	-	**NIVEL FREÁTICO:** N.E.	
OPERADOR:	-	**PROFUNDIDAD TOTAL (m):** 1.50	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL	**FECHA DE EJECUCIÓN:** 20/06/2022	

PROF. (m)	GRÁFICO	SUCS	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	ENSAYOS IN SITU	COMENTARIOS
0.00			**Superficie del terreno**				
0.40		OL	(0.00 a 0.40 m). Suelo organico con raices, LP medio, superficie con vegetacion con presencia de boloneria OL, consistencia blanda, negro, humeda, homogeneo, boloneria 4", 5% del volumen total, gravas subangulosoas 4".Gravas= 15 %, Arenas=5% y Finos 80%.	-	-	-	-
1.30		GP/GM	(0.40 a 1.30 m) Arena limosa- grava limosa, plasticidad baja a nula, consistencia suelta a medianamente densa, humeda, pardo verdoso,homogenea, gravas subredondeadas angulosas y subredondeadas.Tamaño max. 8", 5 % del volumen total. Gravas= 47 %, Arenas=43% y Finos 10%.	MAG	M-1	-	-
1.50		GM	(1.30 a 1.50 m) Grava arenosa con limo, plasticidad baja, consistencia medianamente densa, húmedo, color pardo verdoso, homogéneo, gravas subangulosas y subredondeadas, tamaño máximo de bolonería 4", 5 % del volument total. Gravas= 45 %, Arenas=40% y Finos 15%.	MAG	M-2	-	'-
4.00			**FIN DE CALICATA (1.50 m)**				
5.00							
6.00							

LEYENDA:

TIPO DE MUESTRA

MAG - Muestra alterada grande
MAP - Muestra alterada pequeña
BL - Bloque (Muestra inalterada)
S/M - Sin muestra
CM - California modificado
PAG - Muestra para análisis de agua

ENSAYOS IN SITU

qu - Ensayos con penetrómetro de mano
T - Ensayos con veleta de mano
dc - Ensayo de densidad de campo

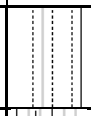
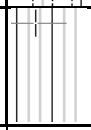
NIVEL DE AGUA Y FUNDACIÓN

NE - No encontrado
Df - Profundidad de fundación sugerido

SIMBOLOGÍA

	REGISTRO DE CALICATAS	**CALICATA N°** CA-DR-06 ***Página 1 de 1***

PROYECTO:	Estudio Geotécnico de la Planta de Beneficio e Ingeniería de Factibilidad del Depósito de Relaves - Proyecto Shonte Quelle	**NORTE (m):** 8,848,432.00	**ESTE (m):** 410,301.00
PROYECTO N°:	P300-175-22-03	**ELEVACIÓN (msnm):** 3715	
UBICACIÓN:	Deposito de Relaves	**DIMENSIONES (m):** 1.00x1.30	
CLIENTE:	PAMPA SONQO E.I.R.L	**CONDICIONES DE LA SUPERFICIE:** NIVELADA	
CONTRATISTA:	-	**NIVEL FREÁ** N.E.	
OPERADOR:	-	**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** 1.60	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL	**FECHA DE EJECUCIÓN:** 11/06/2022	

PROF. (m)	GRÁFICO	SUCS	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	ENSAYOS IN SITU	COMENTARIOS
0.00			**Superficie del terreno**				
0.30		OL	(0.00 a 0.30 m). Suelo organico arenoso, plasticidad baja, consistencia blanda, humedo, marron oscuro, arena de grano fino, grava subangulosa, presencia de boloneria de tamaño maximo 6" del 5% del volumen total. Gravas 10%, Arenas=35%, Finos= 55%.	-	-	-	-
1.60		SM	(0.30 a 1.60 m) Arena limosa, plasticidad baja, compacidad suelta a medianamente densa, seca, marron verdoso, arena de grano medio a grueso, grava subangulosa, presencia de boloneria de tamaño maximo de 4", del 10% del volumen total. Gravas= 10 %, Arenas=55% y Finos 35%.	MAG	M-01/M-02	dc	
3.00			**FIN DE CALICATA (1.60 m)**				
4.00							
5.00							
6.00							

LEYENDA:

TIPO DE MUESTRA

MAG - Muestra alterada grande
MAP - Muestra alterada pequeña
BL - Bloque (Muestra inalterada)
S/M - Sin muestra
CM - California modificado
PAG - Muestra para análisis de agua

ENSAYOS IN SITU

qu - Ensayos con penetrómetro de mano
T - Ensayos con veleta de mano
dc - Ensayo de densidad de campo

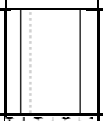
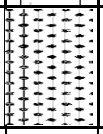
NIVEL DE AGUA Y FUNDACIÓN

NE - No encontrado
Df - Profundidad de fundación sugerido

SIMBOLOGÍA

	REGISTRO DE CALICATAS	**CALICATA N°** CA-DR-07 ***Página 1 de 1***

PROYECTO:	Estudio Geotécnico de la Planta de Beneficio e Ingeniería de Factibilidad del Depósito de Relaves - Proyecto Shonte Quelle	**NORTE (m):** 8,848,483.00	**ESTE (m):** 410,320.00
PROYECTO N°:	P300-175-22-03	**ELEVACIÓN (msnm):** 3705	
UBICACIÓN:	Deposito de Relaves	**DIMENSIONES (m):** 1.70x1.40	
CLIENTE:	PAMPA SONQO E.I.R.L	**CONDICIONES DE LA SUPERFICIE:** NIVELADA	
CONTRATISTA:	-	**NIVEL FREÁTICO:** N.E.	
OPERADOR:	-	**PROFUNDIDAD TOTAL (m):** 1.60	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL	**FECHA DE EJECUCIÓN:** 21/06/2022	

PROF. (m)	GRÁFICO	SUCS	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	ENSAYOS IN SITU	COMENTARIOS
0.00			**Superficie del terreno**				
0.60		OL	(0.00 a 0.60 m). Limo orgánico con presencia de raíces, plasticidad media a alta, consistencia blanda, muy húmeda, color negro a marrón oscuro, homogénea, con presencia de bolonería tamaño maximo 12", 30 % del volumen total, bloques tamaño máximo 18", 50 % del volumen total. Gravas= 0 %, Arenas=0% y Finos 100%.	-	-	-	-
1.60		GP-GM	(0.60 a 1.60 m) Grava pobremente gradada con arena, plasticidad baja a nula, consistencia densa, húmeda, color gris verdoso, homogéneo, grava subangulosa, tamaño máximo 3", bolonería Tamaño max. 12", 30 % del volumen total, bloques tamaño máximo 18", 60 % del volumen total.. Gravas= 45 %, Arenas= 35% y Finos 10%.	MAG	M-1/	-	por presencia de bloques se avanzo por un costado hasta llegar a 1.60 m.
4.00			**FIN DE CALICATA (1.60 m)**				
5.00							
6.00							

LEYENDA:

TIPO DE MUESTRA

MAG - Muestra alterada grande
MAP - Muestra alterada pequeña
BL - Bloque (Muestra inalterada)
S/M - Sin muestra
CM - California modificado
PAG - Muestra para análisis de agua

ENSAYOS IN SITU

qu - Ensayos con penetrómetro de mano
T - Ensayos con veleta de mano
dc - Ensayo de densidad de campo

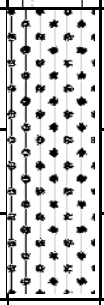
NIVEL DE AGUA Y FUNDACIÓN

NE - No encontrado
Df - Profundidad de fundación sugerido

SIMBOLOGÍA

	REGISTRO DE CALICATAS	**CALICATA N°** CA-DR-08 ***Página 1 de 1***

PROYECTO:	Estudio Geotécnico de la Planta de Beneficio e Ingeniería de Factibilidad del Depósito de Relaves - Proyecto Shonte Quelle	**NORTE (m):** 8,848,381.00	**ESTE (m):** 410,345.00
PROYECTO N°:	P300-175-22-03	**ELEVACIÓN (msnm):** 3727	
UBICACIÓN:	Deposito de Relaves	**DIMENSIONES (m):**	
CLIENTE:	PAMPA SONQO E.I.R.L	**CONDICIONES DE LA SUPERFICIE:** NIVELADA	
CONTRATISTA:	-	**NIVEL FREÁTICO:** NE	
OPERADOR:	-	**PROFUNDIDAD TOTAL (m):** 1.60	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL	**FECHA DE EJECUCIÓN:** 21/06/2022	

PROF. (m)	GRÁFICO	SUCS	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	ENSAYOS IN SITU	COMENTARIOS
0.00			**Superficie del terreno**				
0.40		OL	(0.00 a 0.40 m). Limo orgánico, plasticidad media, consistencia blanda, húmedo, color negro, homogéneo, gravas subangulosas, tamaño máximo gravas 3". Gravas= 3 %, Arenas=2 % y Finos 95 %.	-	-	-	-
0.60		GM	(0.40 a 0.60 m) Grava limosa, plasticidad media a baja, consistencia medianamente densa, húmeda, color pardo gris amarillo óxido, homogéneo, gravas angulosas, tamaño máximo 4", 5 % del volumen total. Gravas= 65 %, Arenas=20 % y Finos 25 %.				
1.10		GM	(0.60 a 1.10 m) Grava arenosa con limo, plasticidad baja a nula, consistencia densa, muy humeda, color pardo gris claro, gravas subangulosas, bolonería tamaño máximo 12", 15 % del volumen total. Gravas= 45 %, Arenas= 40 % y Finos 15 %.	MAG	M-1		
1.60		GM	(1.10 a 1.60 m) Grava arenosa con limo, plasticidad baja, húmeda, consistencia medianamente densa, color pardo gris claro, homogéneo, gravas subangulosas, tamaño máximo 3". Gravas= 45 %, Arenas=35 % y Finos 20 %.	MAG	M-2	dc	
5.00			**FIN DE CALICATA (1.60 m)**				
6.00							

LEYENDA:

TIPO DE MUESTRA

MAG - Muestra alterada grande
MAP - Muestra alterada pequeña
BL - Bloque (Muestra inalterada)
S/M - Sin muestra
CM - California modificado
PAG - Muestra para análisis de agua

ENSAYOS IN SITU

qu - Ensayos con penetrómetro de mano
T - Ensayos con veleta de mano
dc - Ensayo de densidad de campo

NIVEL DE AGUA Y FUNDACIÓN

NE - No encontrado
Df - Profundidad de fundación sugerido

SIMBOLOGÍA

	REGISTRO DE CALICATAS	**CALICATA N°** CA-DR-09 ***Página 1 de 1***

PROYECTO:	Estudio Geotécnico de la Planta de Beneficio e Ingeniería de Factibilidad del Depósito de Relaves - Proyecto Shonte Quelle	**NORTE (m):** 8,848,363.00	**ESTE (m):** 410,319.00
PROYECTO N°:	P300-175-22-03	**ELEVACIÓN (msnm):** 3726	
UBICACIÓN:	Deposito de Relaves	**DIMENSIONES (m):** 1.10x1.50	
CLIENTE:	PAMPA SONQO E.I.R.L	**CONDICIONES DE LA SUPERFICIE:** NIVELADA	
CONTRATISTA:	-	**NIVEL FREÁ** 1.30	
OPERADOR:	-	**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** 1.60	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL	**FECHA DE EJECUCIÓN:** 20/06/2022	

PROF. (m)	GRÁFICO	SUCS	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	ENSAYOS IN SITU	COMENTARIOS
0.00			**Superficie del terreno**				
0.65		OL	(0.00 a 0.65 m). Suelo organico, plasticidad media, consistencia blanda, humedo, negro, homogeneo, grava de forma subangulosa, tamaño maximo 2", no presenta boloneria, filtración 0.65 m. Gravas= 2 %, Arenas=3% y Finos 95%.	-	-	-	-
1.10		GM	(0.65 a 1.10 m) Grava arenosa con limo, plasticidad baja, consistencia suelta a medianamente densa, muy humeda, color pardo gris claro, homogeneo, gravas subangulosas y subredondeadas, presencia de bolonería, tamaño máximo 9". Gravas= 45 %, Arenas=40% y Finos 15%.				
1.40		GM	(1.10 a 1.40 m) Grava arenosa con limo, plasticidad baja a media, consistencia medianamente densa, muy humeda, color pardo gris amarillo claro, homogénea, gravas subangulosas y subredondeada, presencia de bolonería, tamaño máximo 4", 5 % del volumen total. Gravas= 42 %, Arenas=38 % y Finos 20%.				
1.60		GM	(1.40 a 1.60 m) Grava arenosa con limo, LP medio, consistencia densa, muy húmedo, color pardo gris claro, homogéneo, gravas subangulosas y subredondeadas, presencia de bolonería, tamaño máximo 4", 5 % del volumen total. Gravas= 40 %, Arenas=35 % y Finos 25 %.	MAG	M-1		
5.00			**FIN DE CALICATA (1.60 m)**				
6.00							

LEYENDA:

TIPO DE MUESTRA

MAG - Muestra alterada grande
MAP - Muestra alterada pequeña
BL - Bloque (Muestra inalterada)
S/M - Sin muestra
CM - California modificado
PAG - Muestra para análisis de agua

ENSAYOS IN SITU

qu - Ensayos con penetrómetro de mano
T - Ensayos con veleta de mano
dc - Ensayo de densidad de campo

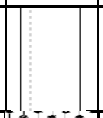
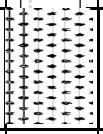
NIVEL DE AGUA Y FUNDACIÓN

NE - No encontrado
Df - Profundidad de fundación sugerido

SIMBOLOGÍA

	REGISTRO DE CALICATAS	**CALICATA N°** CA-DR-10 ***Página 1 de 1***

PROYECTO:	Estudio Geotécnico de la Planta de Beneficio e Ingeniería de Factibilidad del Depósito de Relaves - Proyecto Shonte Quelle	**NORTE (m):** 8,848,418.00	**ESTE (m):** 410,360.00
PROYECTO N°:	P300-175-22-03	**ELEVACIÓN (msnm):** 3720	
UBICACIÓN:	Deposito de Relaves	**DIMENSIONES (m):** 1.50x1.00	
CLIENTE:	PAMPA SONQO E.I.R.L	**CONDICIONES DE LA SUPERFICIE:** NIVELADA	
CONTRATISTA:	-	**NIVEL FREÁT** 1.00	
OPERADOR:	-	**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** 1.60	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL	**FECHA DE EJECUCIÓN:** 21/06/2022	

PROF. (m)	GRÁFICO	SUCS	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	ENSAYOS IN SITU	COMENTARIOS
0.00			**Superficie del terreno**				
1.10		OL	(0.00 a 1.10 m). Suelo organico, plasticidad media, consistencia blanda, húmeda, color negro sin olor, homogénea, gravas subangulosas, bolonería tamaño máximo 12", 10 % del volumen total, filtracion por paredes a 1.10 m. Gravas= 2 %, Arenas=1% y Finos 97%.	-	-	-	-
1.60		GP-GM	(1.10 a 1.60 m) Grava pobremente gradada con arena, plasticidad baja a media, consistencia suelta, muy húmeda, homogéneo, bolonería Tamaño max. 4", 5 % del volumen total. Gravas= 50 %, Arenas=40% y Finos 10%.	MAG	M-1	-	fin por presencia de agua
4.00			**FIN DE CALICATA (1.60 m)**				
5.00							
6.00							

LEYENDA:

TIPO DE MUESTRA

MAG - Muestra alterada grande
MAP - Muestra alterada pequeña
BL - Bloque (Muestra inalterada)
S/M - Sin muestra
CM - California modificado
PAG - Muestra para análisis de agua

ENSAYOS IN SITU

qu - Ensayos con penetrómetro de mano
T - Ensayos con veleta de mano
dc - Ensayo de densidad de campo

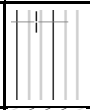
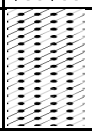
NIVEL DE AGUA Y FUNDACIÓN

NE - No encontrado
Df - Profundidad de fundación sugerido

SIMBOLOGÍA

	REGISTRO DE CALICATAS	**CALICATA N°** CA-DR-11 ***Página 1 de 1***

PROYECTO:	Estudio Geotécnico de la Planta de Beneficio e Ingeniería de Factibilidad del Depósito de Relaves - Proyecto Shonte Quelle	**NORTE (m):** 8,848,493.00	**ESTE (m):** 410,206.00
PROYECTO N°:	P300-175-22-03	**ELEVACIÓN (msnm):** 3683	
UBICACIÓN:	Deposito de Relaves	**DIMENSIONES (m):** 1.20x1.20	
CLIENTE:	PAMPA SONQO E.I.R.L	**CONDICIONES DE LA SUPERFICIE:** NIVELADA	
CONTRATISTA:	-	**NIVEL FREÁTICO:** NE	
OPERADOR:	-	**PROFUNDIDAD TOTAL (m):** 1.50	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL	**FECHA DE EJECUCIÓN:** 25/06/2022	

PROF. (m)	GRÁFICO	SUCS	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	ENSAYOS IN SITU	COMENTARIOS
0.00			**Superficie del terreno**				
1.10		OL/OH	(0.00 a 1.10 m). Limo orgànico, plasticidad media a alta, consistencia blanda, húmedo, color negro,sin olor, homogéneo, gravas aisladas, tamaño màxim 3", 1 % del volumen total, bolonerìa tamaño màximo 8", 5 % del volumen total. Gravas= 1 %, Arenas= 0 % y Finos 99 %.	-	-	-	-
1.50		GC	(1.10 a 1.50 m) Grava arcillosa con arena, plasticidad media, consistencia suelta a medianamente suelta, muy húmedo, color gris claro con amarillo òxido, homogéneo, gravas de forma subangulosa, tamaño máximo 3". Gravas= 50 %, Arenas= 20 % y Finos 30 %.	MAG	M-1		en etiqueta dice 1.10-1.60 por favor corregir 1.10-1.50
			FIN DE CALICATA (0.80 m)				
5.00							
6.00							

LEYENDA:

TIPO DE MUESTRA

MAG - Muestra alterada grande
MAP - Muestra alterada pequeña
BL - Bloque (Muestra inalterada)
S/M - Sin muestra
CM - California modificado
PAG - Muestra para análisis de agua

ENSAYOS IN SITU

qu - Ensayos con penetrómetro de mano
T - Ensayos con veleta de mano
dc - Ensayo de densidad de campo

NIVEL DE AGUA Y FUNDACIÓN

NE - No encontrado
Df - Profundidad de fundación sugerido

SIMBOLOGÍA

N°	EXCAVACIÓN / COMPONENTE	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CÁLCULO DE HUMEDAD							
				MUESTRA 1				MUESTRA 2			
				RECIPIENTE	PESO TARA	SUELO HUMEDO + TARA	SUELO SECO + TARA	RECIPIENTE	PESO TARA	SUELO HUMEDO + TARA	SUELO SECO + TARA
1	FUNDACIÓN	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	11545	10650	4	490	715	695
2	CAPA 1	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	15225	14085	3	490	725	705
3	CAPA 2	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	14085	12245	4	490	630	605
4	CAPA 3	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	14350	12120	1	490	805	765
5	CAPA 4	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	16310	14010	3	490	740	695
6	CAPA 5	M - 1	SUPERFICIAL	4	0	16580	14390	2	490	770	725
7	CAPA 6	M - 1	SUPERFICIAL	3	0	15610	13680	2	490	740	695
8	CAPA 7	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	15770	12520	4	490	715	670
9	CAPA 8	M - 1	SUPERFICIAL	4	0	16440	14075	2	490	760	715
10	CAPA 9	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	14400	12415	3	490	690	645
11	CAPA 10	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	14050	12040	4	490	745	700
12	CAPA 11	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	14975	13010	3	490	715	670
13	CAPA 12	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	16765	14375	2	490	750	705
14	CAPA 13	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	15650	13585	3	490	875	825
15	CAPA 14	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	14265	12195	4	490	775	720
16	CAPA 15	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	14220	12565	3	490	760	725
17	CAPA 16	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	15705	13915	2	490	715	680
18	CAPA 17	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	14630	13370	2	490	735	715
19	CAPA 18	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	15775	13990	2	490	710	690
20	CAPA 19	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	14635	13280	3	490	680	665
21	CAPA 20	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	14550	13305	3	490	785	760
22	CAPA 21	M - 1	SUPERFICIAL	3	0	15760	14215	1	490	675	655
23	CAPA 22	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	14635	13140	3	490	730	705

N°	EXCAVACIÓN / COMPONENTE	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CÁLCULO DE HUMEDAD							
				MUESTRA 1				MUESTRA 2			
				RECIPIENTE	PESO TARA	SUELO HUMEDO + TARA	SUELO SECO + TARA	RECIPIENTE	PESO TARA	SUELO HUMEDO + TARA	SUELO SECO + TARA
1	FUNDACIÓN	M - 1	SUPERFICIAL	3	0	15555	14095	3	490	845	810
2	CAPA 23	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	16935	15565	5	490	810	785
3	CAPA 24	M - 1	SUPERFICIAL	3	0	12445	11380	5	490	730	710
4	CAPA 25	M - 1	SUPERFICIAL	4	0	15420	14210	5	490	745	720
5	CAPA 26	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	16380	15115	5	490	805	775
6	CAPA 27	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	14225	13065	5	490	765	740
7	CAPA 28	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	13695	12335	5	490	830	790
8	CAPA 29	M - 1	SUPERFICIAL	4	0	14450	13010	5	490	750	720
9	CAPA 30	M - 1	SUPERFICIAL	3	0	13755	12430	5	490	825	795
10	CAPA 31	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	14050	12740	5	490	835	795
11	CAPA 32	M - 1	SUPERFICIAL	4	0	14765	13265	5	490	770	735
12	CAPA 33	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	14330	13005	5	490	790	755
13	CAPA 34	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	14680	13250	5	490	815	785
14	CAPA 35	M - 1	SUPERFICIAL	4	0	13475	12705	5	490	855	830
15	CAPA 36	M - 1	SUPERFICIAL	4	0	15565	14385	5	490	695	670
16	CAPA 37	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	13445	12005	5	490	775	745
17	CAPA 38	M - 1	SUPERFICIAL	3	0	14285	12695	5	490	740	710
18	CAPA 39	M - 1	SUPERFICIAL	4	0	13060	11750	5	490	760	730
19	CAPA 40	M - 1	SUPERFICIAL	3	0	15480	14030	5	490	635	625
20	CAPA 41	M - 1	SUPERFICIAL	1	0	14965	13455	5	490	830	795
21	CAPA 42	M - 1	SUPERFICIAL	2	0	13740	11315	5	490	640	620

INFORME DE LABORATORIO IF-2022-003-AGT001
PPSS - 2203
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

COD: PS - FP - 2022 - 008
REV : 1
APR : W.C.
FEC : NOV - 2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(ASTM D-422 // N.T.P. 339.128)

PROYECTO : PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES RAMOS BALCÓN - RELAVERA

UBICACIÓN : FUNDACIÓN DEL DIQUE DE LA RELAVERA
CLIENTE : CONSORCIO MINERO SUNEC S.A.C.
SOLICITANTE : ÁREA DE PROYECTOS
COMPONENTE : FUNDACIÓN
MUESTRA : M - 1

F. DE RECEPCIÓN : 6/12/2022
F. DE EJECUCIÓN : 6/12/2022
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

Peso Tara + Suelo Húmedo (g) :	11545	**Peso Lavado Seco + Tara (g) :**	10650
Peso Tara + Suelo Seco (g) :	10650	**Peso perdido por Lavado (g) :**	0
Peso Tara (g) :	0	**Corte en malla #10 :**	NO
Contenido de Humedad (%) :	8.40	**Fracción fina lavada seca :**	0

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Tamiz N°	Tamiz Abertura [mm]	Peso retenido	Peso retenido Aum.	% Retenido	% Retenido acumulado	% Acumulado que pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.600	1,810.00	1,810.00	17.00%	17.00%	83.00%
1 1/2"	38.100	0.00	1,810.00	0.00%	17.00%	83.00%
1"	25.400	1,545.00	3,355.00	14.51%	31.50%	68.50%
3/4"	19.050	1,090.00	4,445.00	10.23%	41.74%	58.26%
3/8"	9.525	1,330.00	5,775.00	12.49%	54.23%	45.77%
Nº 4	4.760	1,060.00	6,835.00	9.95%	64.18%	35.82%
Nº 10	2.000	640.00	7,475.00	6.01%	70.19%	29.81%
Nº 20	0.840	380.00	7,855.00	3.57%	73.76%	26.24%
Nº 40	0.420	295.00	8,150.00	2.77%	76.53%	23.47%
Nº 60	0.250	405.00	8,555.00	3.80%	80.33%	19.67%
Nº 100	0.149	260.00	8,815.00	2.44%	82.77%	17.23%
Nº 200	0.074	95.00	8,910.00	0.89%	83.66%	16.34%
Fondo		1,740.00	10,650.00	16.34%	100.00%	0.00%
				100.00%		

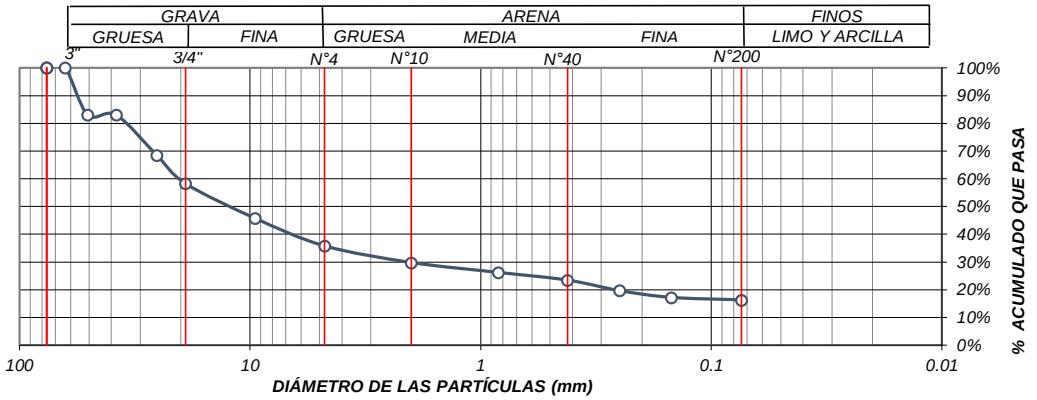
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVAS :	64.18%
% ARENAS :	19.48%
% FINOS :	16.34%
	100.00%

D10 =	0.07
D30 =	2.05
D60 =	20.00

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	
(Cu) =	270.31

COEFICIENTE DE CURVATURA	
(Cc) =	2.85

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

REALIZA TÉCNICO DE MECÁNICA DE SUELOS	SUPERVISA ING. RESPONSABLE	APRUEBA ING. RESPONSABLE
	WILMER CLAUDIO SILVA SUPERVISOR DE PROYECTOS	V°B° PEDRO BANCAYÁN

INFORME DE LABORATORIO IF-2022-003-AGT002
PPSS - 2203
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

COD: PS - FP - 2022 - 008
REV : 1
APR : W.C.
FEC : NOV - 2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(ASTM D-422 // N.T.P. 339.128)

PROYECTO : PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES RAMOS BALCÓN - RELAVERA

UBICACIÓN : CAPA DE CONFORMACIÓN
CLIENTE : CONSORCIO MINERO SUNEC S.A.C.
SOLICITANTE : ÁREA DE PROYECTOS
COMPONENTE : CAPA 1
MUESTRA : M - 1

F. DE RECEPCIÓN : 10/12/2022
F. DE EJECUCIÓN : 10/12/2022
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

Peso Tara + Suelo Húmedo (g) :	15225	**Peso Lavado Seco + Tara (g) :**	14085
Peso Tara + Suelo Seco (g) :	14085	**Peso perdido por Lavado (g) :**	0
Peso Tara (g) :	0	**Corte en malla #10 :**	SÍ
Contenido de Humedad (%) :	8.09	**Fracción fina lavada seca :**	623

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Tamiz N°	Tamiz Abertura [mm]	Peso retenido	Peso retenido Aum.	% Retenido	% Retenido acumulado	% Acumulado que pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.600	1,335.00	1,335.00	9.48%	9.48%	90.52%
1 1/2"	38.100	0.00	1,335.00	0.00%	9.48%	90.52%
1"	25.400	1,290.00	2,625.00	9.16%	18.64%	81.36%
3/4"	19.050	1,110.00	3,735.00	7.88%	26.52%	73.48%
3/8"	9.525	1,050.00	4,785.00	7.45%	33.97%	66.03%
Nº 4	4.760	980.00	5,765.00	6.96%	40.93%	59.07%
Nº 10	2.000	145.00	5,910.00	13.75%	54.68%	45.32%
Nº 20	0.840	85.84	5,995.84	8.14%	62.82%	37.18%
Nº 40	0.420	65.39	6,061.23	6.20%	69.02%	30.98%
Nº 60	0.250	29.34	6,090.57	2.78%	71.80%	28.20%
Nº 100	0.149	33.15	6,123.72	3.14%	74.94%	25.06%
Nº 200	0.074	34.26	6,157.98	3.25%	78.19%	21.81%
Fondo		230.02	6,388.00	21.81%	100.00%	0.00%
				100.00%		

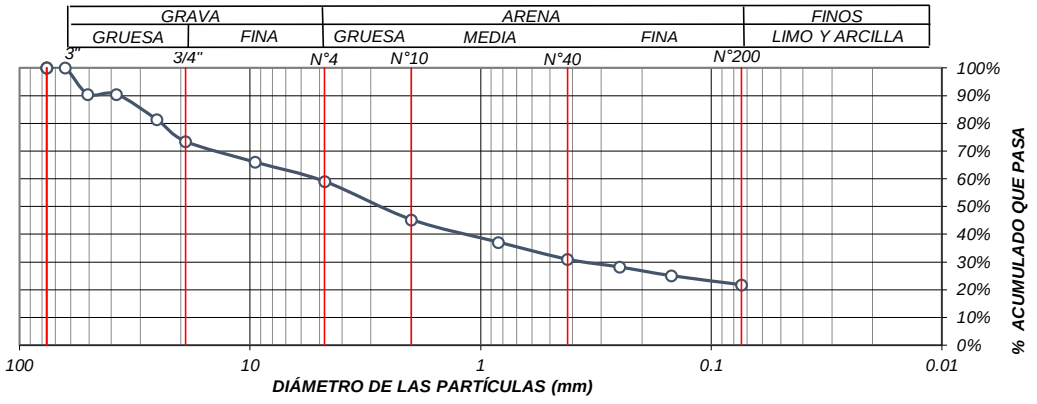
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVAS :	40.93%
% ARENAS :	37.26%
% FINOS :	21.81%
	100.00%

D10 =	0.07
D30 =	0.35
D60 =	5.22

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	
(Cu) =	70.57

COEFICIENTE DE CURVATURA	
(Cc) =	0.32

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

REALIZA TÉCNICO DE MECÁNICA DE SUELOS	SUPERVISA ING. RESPONSABLE	APRUEBA ING. RESPONSABLE
	WILMER CLAUDIO SILVA SUPERVISOR DE PROYECTOS	V°B° PEDRO BANCAYÁN

INFORME DE LABORATORIO IF-2022-003-AGT003
PPSS - 2203
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

COD: PS - FP - 2022 - 008
REV : 1
APR : W.C.
FEC : NOV - 2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(ASTM D-422 // N.T.P. 339.128)

PROYECTO : PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES RAMOS BALCÓN - RELAVERA

UBICACIÓN : CAPA DE CONFORMACIÓN
CLIENTE : CONSORCIO MINERO SUNEC S.A.C.
SOLICITANTE : ÁREA DE PROYECTOS
COMPONENTE : CAPA 2
MUESTRA : M - 1

F. DE RECEPCIÓN : 14/12/2022
F. DE EJECUCIÓN : 14/12/2022
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

Peso Tara + Suelo Húmedo (g) :	14085	**Peso Lavado Seco + Tara (g) :**	12245
Peso Tara + Suelo Seco (g) :	12245	**Peso perdido por Lavado (g) :**	0
Peso Tara (g) :	0	**Corte en malla #10 :**	SÍ
Contenido de Humedad (%) :	15.03	**Fracción fina lavada seca :**	582

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Tamiz N°	Tamiz Abertura [mm]	Peso retenido	Peso retenido Aum.	% Retenido	% Retenido acumulado	% Acumulado que pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.600	1,095.00	1,095.00	8.94%	8.94%	91.06%
1 1/2"	38.100	0.00	1,095.00	0.00%	8.94%	91.06%
1"	25.400	950.00	2,045.00	7.76%	16.70%	83.30%
3/4"	19.050	885.00	2,930.00	7.23%	23.93%	76.07%
3/8"	9.525	1,075.00	4,005.00	8.78%	32.71%	67.29%
Nº 4	4.760	885.00	4,890.00	7.23%	39.93%	60.07%
Nº 10	2.000	95.00	4,985.00	9.80%	49.74%	50.26%
Nº 20	0.840	94.89	5,079.89	9.79%	59.53%	40.47%
Nº 40	0.420	53.75	5,133.64	5.55%	65.08%	34.92%
Nº 60	0.250	40.42	5,174.06	4.17%	69.25%	30.75%
Nº 100	0.149	24.27	5,198.33	2.50%	71.76%	28.24%
Nº 200	0.074	45.18	5,243.51	4.66%	76.42%	23.58%
Fondo		228.49	5,472.00	23.58%	100.00%	0.00%
				100.00%		

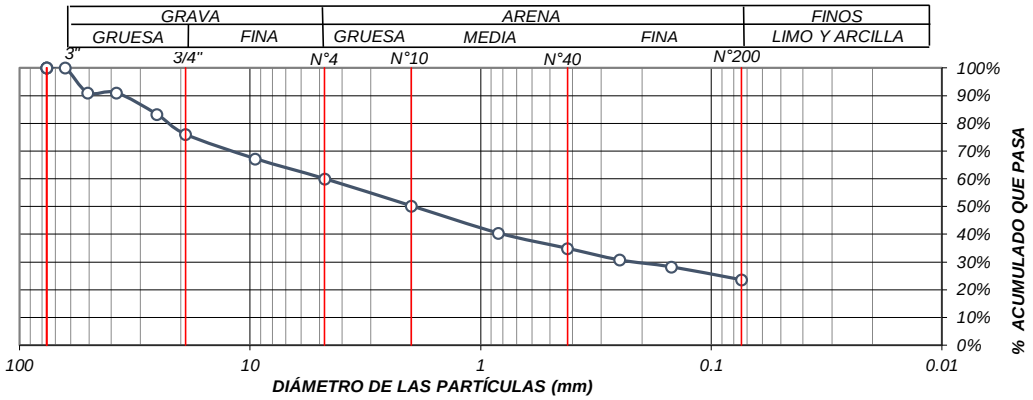
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVAS :	39.93%
% ARENAS :	36.48%
% FINOS :	23.58%
	100.00%

D10 =	0.07
D30 =	0.21
D60 =	4.73

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	
(Cu) =	63.95

COEFICIENTE DE CURVATURA	
(Cc) =	0.13

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

REALIZA	SUPERVISA	APRUEBA
TÉCNICO DE MECÁNICA DE SUELOS	ING. RESPONSABLE	ING. RESPONSABLE
	WILMER CLAUDIO SILVA SUPERVISOR DE PROYECTOS	V°B° PEDRO BANCAYÁN

INFORME DE LABORATORIO IF-2022-003-AGT004
PPSS - 2203
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

COD: PS - FP - 2022 - 008
REV : 1
APR : W.C.
FEC : NOV - 2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(ASTM D-422 // N.T.P. 339.128)

PROYECTO : PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES RAMOS BALCÓN - RELAVERA

UBICACIÓN : CAPA DE CONFORMACIÓN
CLIENTE : CONSORCIO MINERO SUNEC S.A.C.
SOLICITANTE : ÁREA DE PROYECTOS
COMPONENTE : CAPA 3
MUESTRA : M - 1

F. DE RECEPCIÓN : 18/12/2022
F. DE EJECUCIÓN : 18/12/2022
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

Peso Tara + Suelo Húmedo (g) :	14350	**Peso Lavado Seco + Tara (g) :**	11560
Peso Tara + Suelo Seco (g) :	12120	**Peso perdido por Lavado (g) :**	560
Peso Tara (g) :	0	**Corte en malla #10 :**	SÍ
Contenido de Humedad (%) :	18.40	**Fracción fina lavada seca :**	534

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Tamiz N°	Tamiz Abertura [mm]	Peso retenido	Peso retenido Aum.	% Retenido	% Retenido acumulado	% Acumulado que pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.600	1,150.00	1,150.00	9.49%	9.49%	90.51%
1 1/2"	38.100	0.00	1,150.00	0.00%	9.49%	90.51%
1"	25.400	1,310.00	2,460.00	10.81%	20.30%	79.70%
3/4"	19.050	1,180.00	3,640.00	9.74%	30.03%	69.97%
3/8"	9.525	1,255.00	4,895.00	10.35%	40.39%	59.61%
Nº 4	4.760	1,025.00	5,920.00	8.46%	48.84%	51.16%
Nº 10	2.000	186.15	6,106.15	8.70%	57.55%	42.45%
Nº 20	0.840	134.15	6,240.30	6.27%	63.82%	36.18%
Nº 40	0.420	90.24	6,330.54	4.22%	68.04%	31.96%
Nº 60	0.250	38.94	6,369.48	1.82%	69.86%	30.14%
Nº 100	0.149	28.16	6,397.64	1.32%	71.18%	28.82%
Nº 200	0.074	39.66	6,437.30	1.85%	73.03%	26.97%
Fondo		576.70	7,014.00	26.97%	100.00%	0.00%
				100.00%		

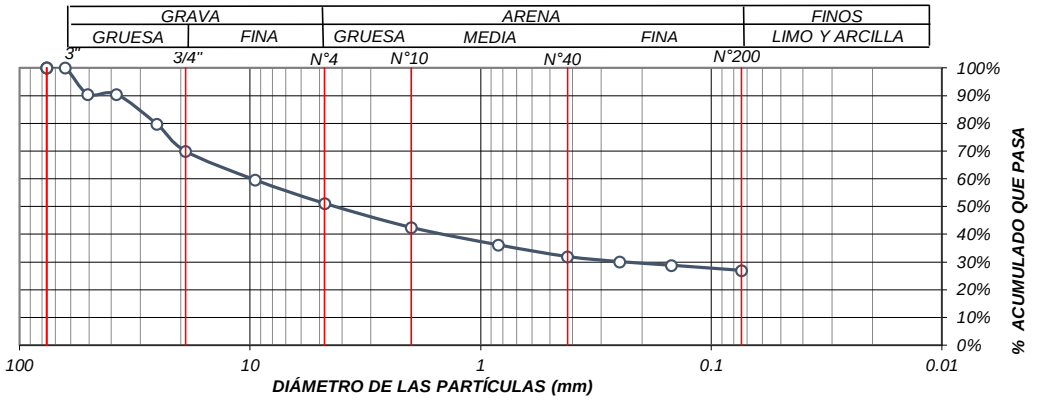
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVAS :	48.84%
% ARENAS :	24.19%
% FINOS :	26.97%
	100.00%

D10 =	0.07
D30 =	0.24
D60 =	9.78

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	
(Cu) =	132.10

COEFICIENTE DE CURVATURA	
(Cc) =	0.08

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

REALIZA	SUPERVISA	APRUEBA
TÉCNICO DE MECÁNICA DE SUELOS	ING. RESPONSABLE	ING. RESPONSABLE
	WILMER CLAUDIO SILVA SUPERVISOR DE PROYECTOS	V°B° PEDRO BANCAYÁN

INFORME DE LABORATORIO IF-2022-003-AGT005
PPSS - 2203
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

COD: PS - FP - 2022 - 008
REV : 1
APR : W.C.
FEC : NOV - 2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(ASTM D-422 // N.T.P. 339.128)

PROYECTO : PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES RAMOS BALCÓN - RELAVERA

UBICACIÓN : CAPA DE CONFORMACIÓN
CLIENTE : CONSORCIO MINERO SUNEC S.A.C.
SOLICITANTE : ÁREA DE PROYECTOS
COMPONENTE : CAPA 4
MUESTRA : M - 1

F. DE RECEPCIÓN : 21/12/2022
F. DE EJECUCIÓN : 21/12/2022
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

Peso Tara + Suelo Húmedo (g) :	16310	**Peso Lavado Seco + Tara (g) :**	13965
Peso Tara + Suelo Seco (g) :	14010	**Peso perdido por Lavado (g) :**	45
Peso Tara (g) :	0	**Corte en malla #10 :**	SÍ
Contenido de Humedad (%) :	16.42	**Fracción fina lavada seca :**	518.7

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Tamiz N°	Tamiz Abertura [mm]	Peso retenido	Peso retenido Aum.	% Retenido	% Retenido acumulado	% Acumulado que pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	76.200	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.600	1,345.00	1,345.00	9.60%	9.60%	90.40%
1 1/2"	38.100	0.00	1,345.00	0.00%	9.60%	90.40%
1"	25.400	1,280.00	2,625.00	9.14%	18.74%	81.26%
3/4"	19.050	1,350.00	3,975.00	9.64%	28.37%	71.63%
3/8"	9.525	1,085.00	5,060.00	7.74%	36.12%	63.88%
Nº 4	4.760	1,185.00	6,245.00	8.46%	44.58%	55.42%
Nº 10	2.000	153.48	6,398.48	15.09%	59.67%	40.33%
Nº 20	0.840	90.66	6,489.14	8.91%	68.58%	31.42%
Nº 40	0.420	46.19	6,535.33	4.54%	73.12%	26.88%
Nº 60	0.250	35.22	6,570.55	3.46%	76.58%	23.42%
Nº 100	0.149	20.08	6,590.63	1.97%	78.56%	21.44%
Nº 200	0.074	28.19	6,618.82	2.77%	81.33%	18.67%
Fondo		189.88	6,808.70	18.67%	100.00%	0.00%
				100.00%		

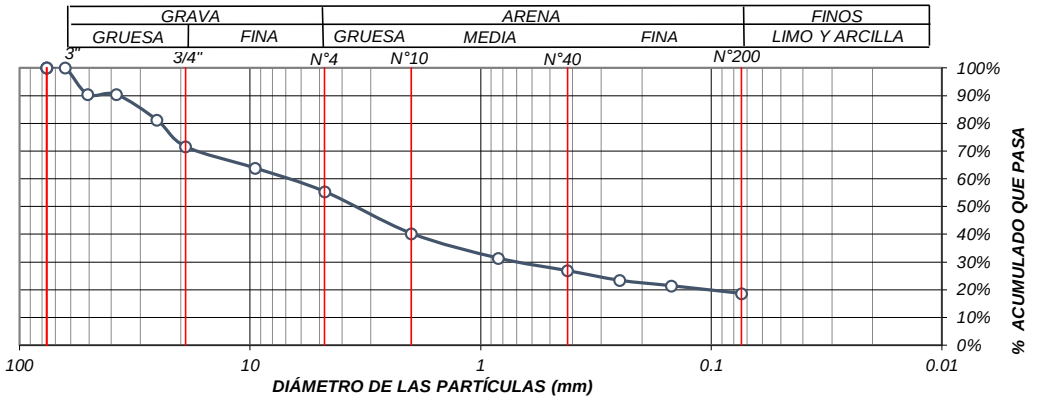
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
% GRAVAS :	44.58%
% ARENAS :	36.76%
% FINOS :	18.67%
	100.00%

D10 =	0.07
D30 =	0.68
D60 =	6.93

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	
(Cu) =	93.61

COEFICIENTE DE CURVATURA	
(Cc) =	0.89

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

REALIZA	SUPERVISA	APRUEBA
TÉCNICO DE MECÁNICA DE SUELOS	ING. RESPONSABLE	ING. RESPONSABLE
	WILMER CLAUDIO SILVA SUPERVISOR DE PROYECTOS	V°B° PEDRO BANCAYÁN

INFORME DE LABORATORIO IF-2022-003-LLS001
PPSS - 2203
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

COD: PS - FP - 2022 - 003
REV : 1
APR : W.C.
FEC : NOV - 2022

LÍMITES DE ATTERBERG
(ASTM D-423 // N.T.P. 339.129)

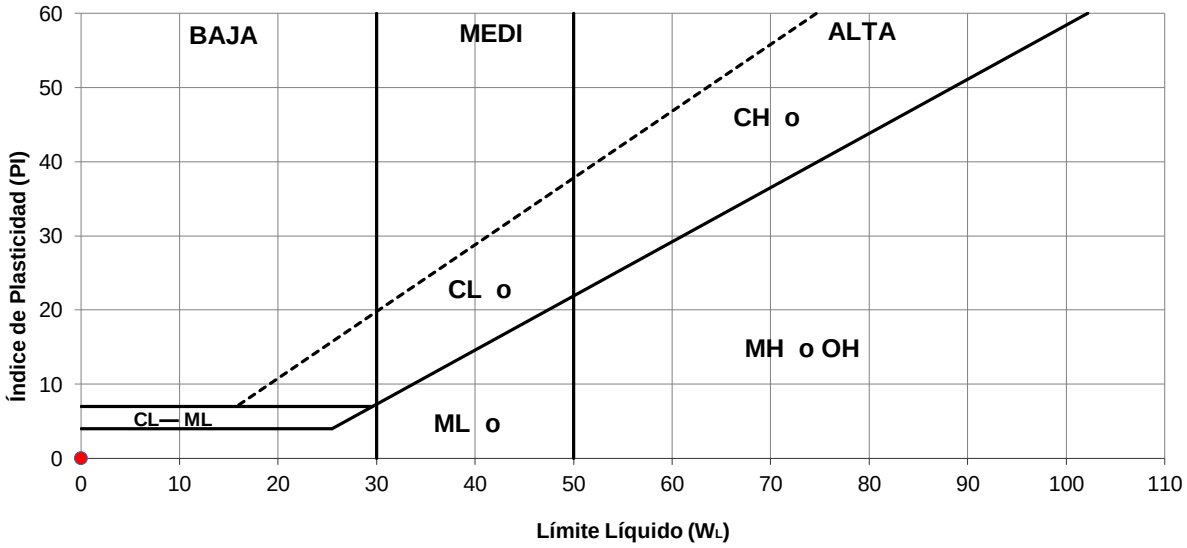
PROYECTO : PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES RAMOS BALCÓN - RELAVERA

UBICACIÓN : FUNDACIÓN DEL DIQUE DE LA RELAVERA
CLIENTE : CONSORCIO MINERO SUNEC S.A.C.
EJECUTOR : ÁREA DE PROYECTOS
COMPONENTE : FUNDACIÓN
MUESTRA : M - 1

F. DE RECEPCIÓN : 6/12/2022
F. DE EJECUCIÓN : 6/12/2022
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		INDICE DE PLASTICIDA
N° DE GOLPES	0	0	0			
PESO DE SUELO HÚMEDO + TARA (gr)						
PESO DE SUELO SECO + TARA (gr)						
PESO TARA (gr)						NP
PESO SUELO SECO (gr)						
PESO DE AGUA (gr)						
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)						
LÍMITES (%)	NP			NP		





OBSERVACIONES:

REALIZA TÉCNICO DE MECÁNICA DE SUELOS	SUPERVISA ING. RESPONSABLE	APRUEBA ING. RESPONSABLE
	WILMER CLAUDIO SILVA SUPERVISOR DE PROYECTOS	V°B° PEDRO BANCAYÁN

INFORME DE LABORATORIO IF-2022-003-LLS002
PPSS - 2203
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

COD: PS - FP - 2022 - 003
REV : 1
APR : W.C.
FEC : NOV - 2022

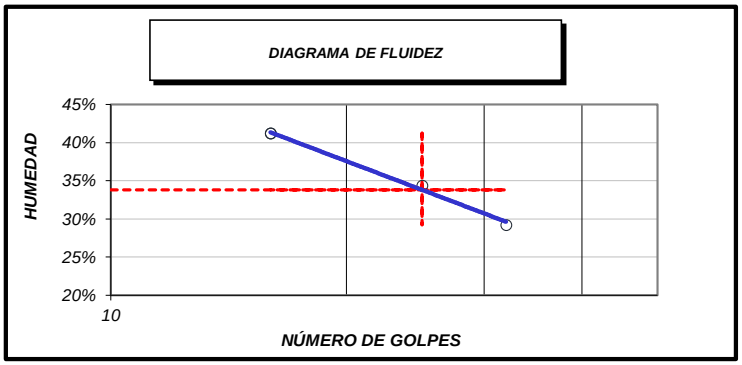
LÍMITES DE ATTERBERG
(ASTM D-423 // N.T.P. 339.129)

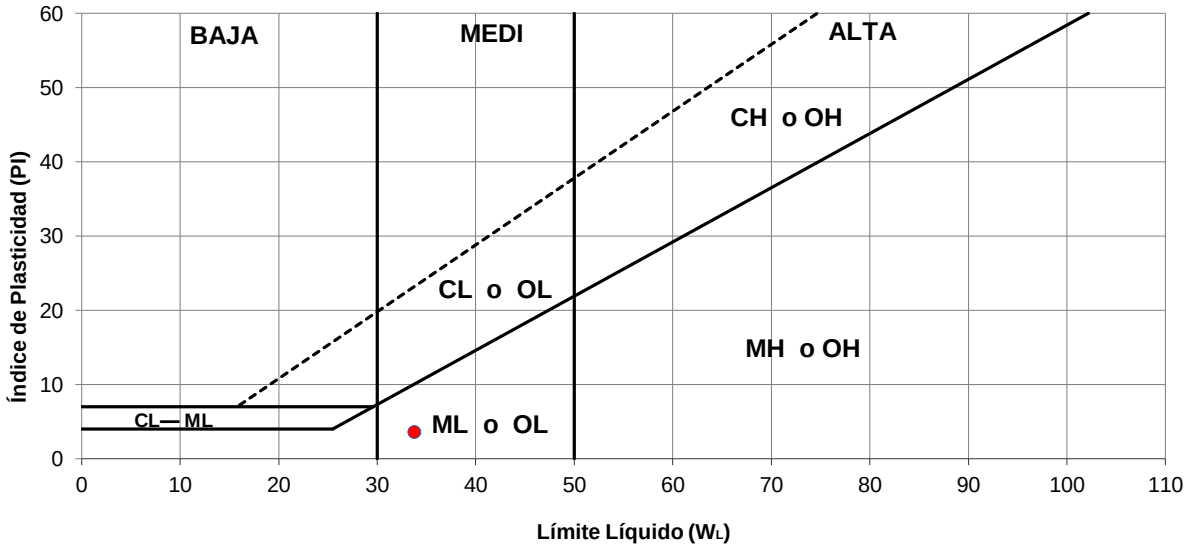
PROYECTO : PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES RAMOS BALCÓN - RELAVERA

UBICACIÓN : CAPA DE CONFORMACIÓN
CLIENTE : CONSORCIO MINERO SUNEC S.A.C.
EJECUTOR : ÁREA DE PROYECTOS
COMPONENTE : CAPA 1
MUESTRA : M - 1

F. DE RECEPCIÓN : 10/12/2022
F. DE EJECUCIÓN : 10/12/2022
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		INDICE DE PLASTICIDA
N° DE GOLPES	16	25	32			
PESO DE SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	27.40	33.50	35.86	23.66	25.69	
PESO DE SUELO SECO + TARA (gr)	23.21	28.93	31.22	21.08	22.59	
PESO TARA (gr)	13.05	15.66	15.35	12.37	12.56	
PESO SUELO SECO (gr)	10.16	13.27	15.87	8.71	10.03	3.55
PESO DE AGUA (gr)	4.19	4.57	4.64	2.58	3.10	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	41.24	34.44	29.24	29.62	30.91	
LÍMITES (%)	33.81			30.26		





OBSERVACIONES:

REALIZA TÉCNICO DE MECÁNICA DE SUELOS	SUPERVISA ING. RESPONSABLE	APRUEBA ING. RESPONSABLE
	WILMER CLAUDIO SILVA SUPERVISOR DE PROYECTOS	VºBº PEDRO RANCAYÁN

INFORME DE LABORATORIO IF-2022-003-LLS003
PPSS - 2203
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

COD: PS - FP - 2022 - 003
REV : 1
APR : W.C.
FEC : NOV - 2022

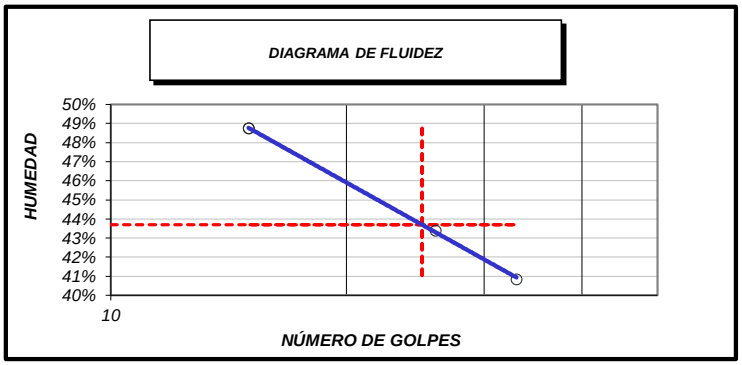
LÍMITES DE ATTERBERG
(ASTM D-423 // N.T.P. 339.129)

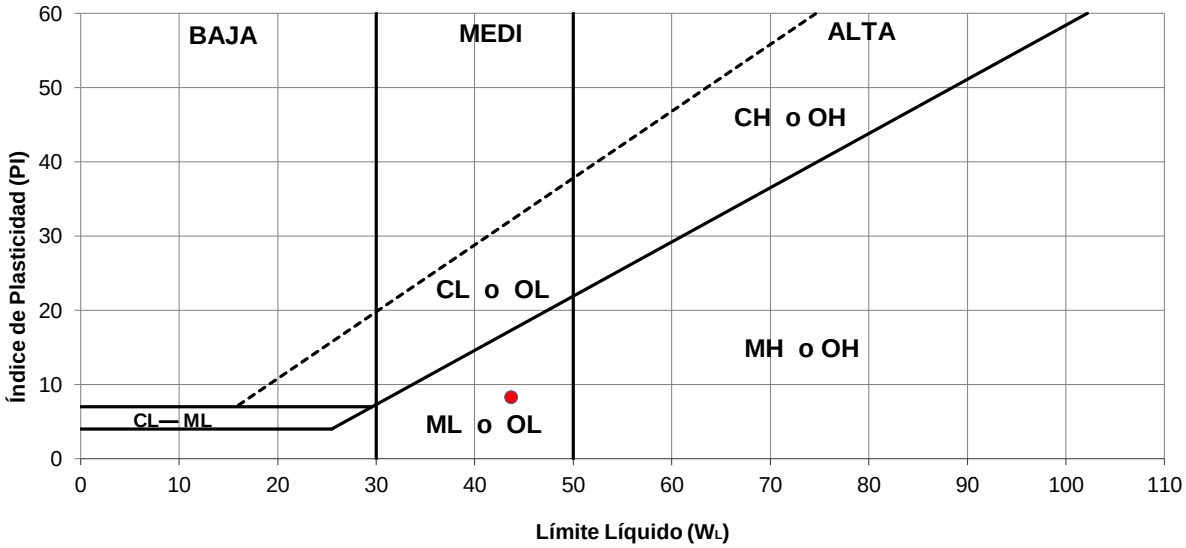
PROYECTO : PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES RAMOS BALCÓN - RELAVERA

UBICACIÓN : CAPA DE CONFORMACIÓN
CLIENTE : CONSORCIO MINERO SUNEC S.A.C.
EJECUTOR : ÁREA DE PROYECTOS
COMPONENTE : CAPA 2
MUESTRA : M - 1

F. DE RECEPCIÓN : 14/12/2022
F. DE EJECUCIÓN : 14/12/2022
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		INDICE DE PLASTICIDA
N° DE GOLPES	15	26	33			
PESO DE SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	28.45	29.66	32.18	24.15	25.61	
PESO DE SUELO SECO + TARA (gr)	23.13	25.02	26.63	21.05	22.16	
PESO TARA (gr)	12.22	14.33	13.05	12.43	12.29	
PESO SUELO SECO (gr)	10.91	10.69	13.58	8.62	9.87	8.24
PESO DE AGUA (gr)	5.32	4.64	5.55	3.10	3.45	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	48.76	43.41	40.87	35.96	34.95	
LÍMITES (%)	43.70			35.46		





OBSERVACIONES:

REALIZA TÉCNICO DE MECÁNICA DE SUELOS	SUPERVISA ING. RESPONSABLE	APRUEBA ING. RESPONSABLE
	WILMER CLAUDIO SILVA SUPERVISOR DE PROYECTOS	VºBº PEDRO RANCAYÁN

INFORME DE LABORATORIO IF-2022-003-LLS004
PPSS - 2203
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

COD: PS - FP - 2022 - 003
REV : 1
APR : W.C.
FEC : NOV - 2022

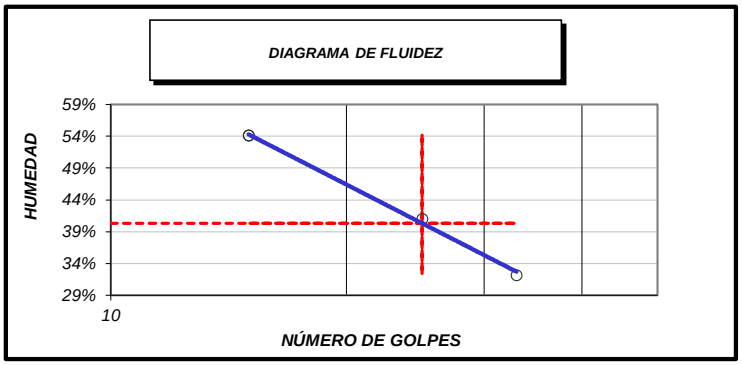
LÍMITES DE ATTERBERG
(ASTM D-423 // N.T.P. 339.129)

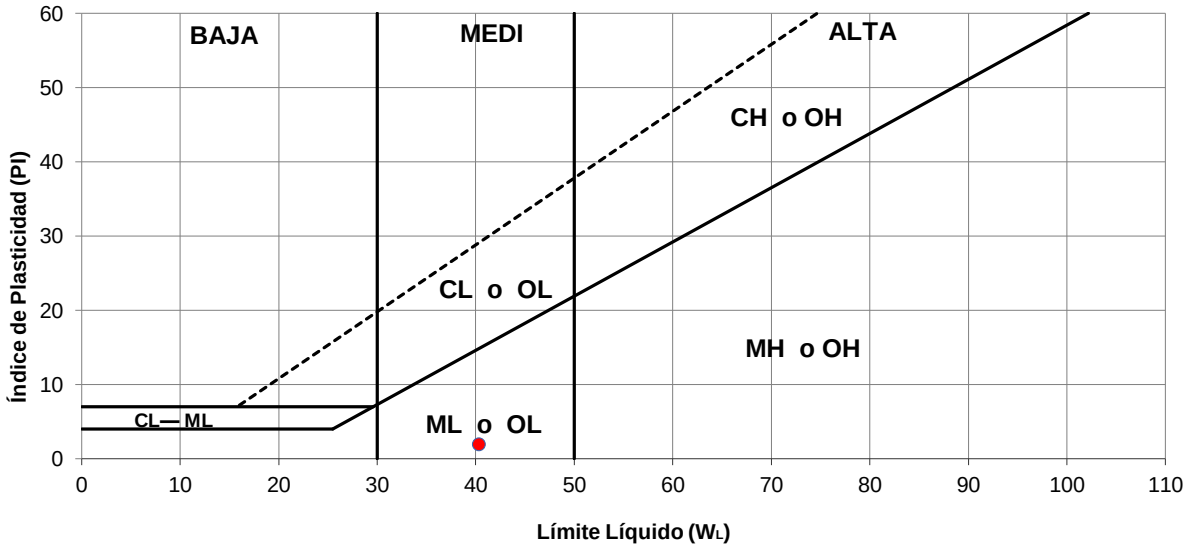
PROYECTO : PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES RAMOS BALCÓN - RELAVERA

UBICACIÓN : CAPA DE CONFORMACIÓN
CLIENTE : CONSORCIO MINERO SUNEC S.A.C.
EJECUTOR : ÁREA DE PROYECTOS
COMPONENTE : CAPA 3
MUESTRA : M - 1

F. DE RECEPCIÓN : 18/12/2022
F. DE EJECUCIÓN : 18/12/2022
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		INDICE DE PLASTICIDA
N° DE GOLPES	15	25	33			
PESO DE SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	29.33	31.56	33.81	25.18	28.22	
PESO DE SUELO SECO + TARA (gr)	23.61	25.93	29.02	21.56	23.86	
PESO TARA (gr)	13.05	12.22	14.16	12.18	12.44	
PESO SUELO SECO (gr)	10.56	13.71	14.86	9.38	11.42	1.93
PESO DE AGUA (gr)	5.72	5.63	4.79	3.62	4.36	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	54.17	41.06	32.23	38.59	38.18	
LÍMITES (%)	40.32			38.39		





OBSERVACIONES:

REALIZA TÉCNICO DE MECÁNICA DE SUELOS	SUPERVISA ING. RESPONSABLE	APRUEBA ING. RESPONSABLE
	WILMER CLAUDIO SILVA SUPERVISOR DE PROYECTOS	VºBº PEDRO RANCAYÁN

INFORME DE LABORATORIO IF-2022-003-LLS005
PPSS - 2203
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

COD: PS - FP - 2022 - 003
REV : 1
APR : W.C.
FEC : NOV - 2022

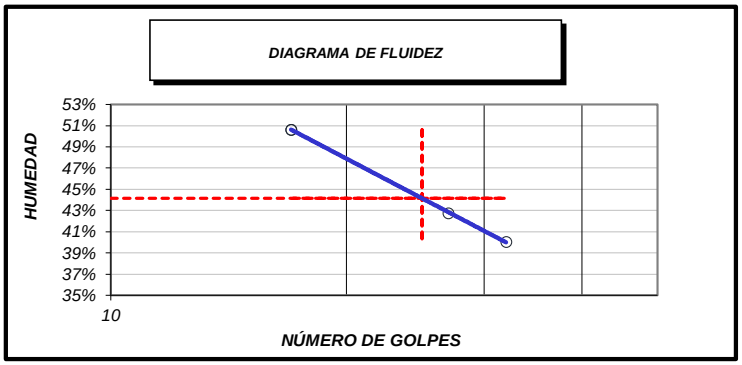
LÍMITES DE ATTERBERG
(ASTM D-423 // N.T.P. 339.129)

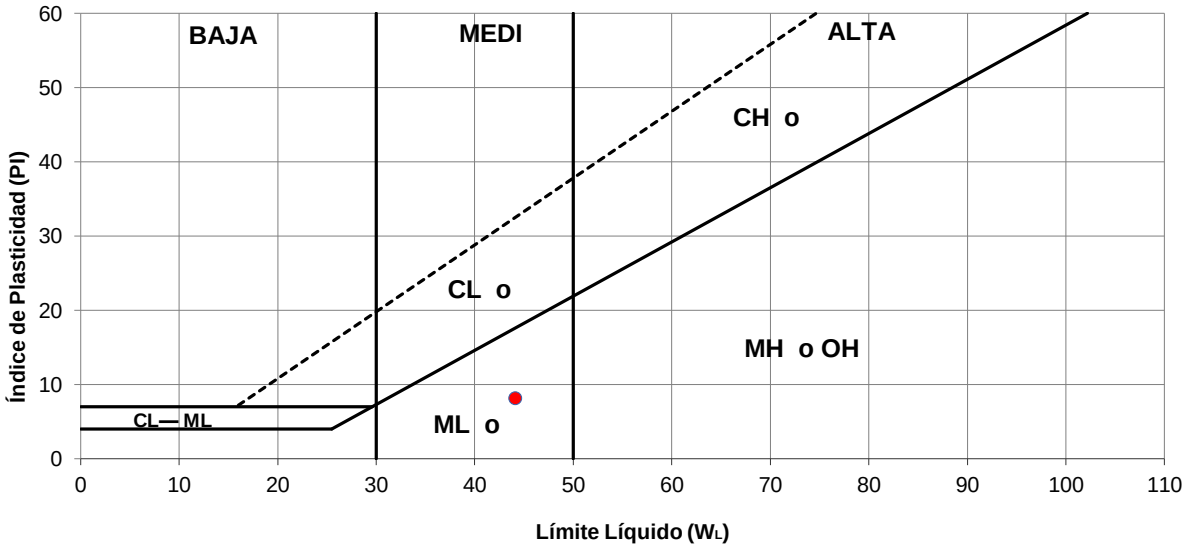
PROYECTO : PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES RAMOS BALCÓN - RELAVERA

UBICACIÓN : CAPA DE CONFORMACIÓN
CLIENTE : CONSORCIO MINERO SUNEC S.A.C.
EJECUTOR : ÁREA DE PROYECTOS
COMPONENTE : CAPA 4
MUESTRA : M - 1

F. DE RECEPCIÓN : 21/12/2022
F. DE EJECUCIÓN : 21/12/2022
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		INDICE DE PLASTICIDA
N° DE GOLPES	17	27	32			
PESO DE SUELO HÚMEDO + TARA (gr)	29.51	30.94	31.76	25.33	25.46	
PESO DE SUELO SECO + TARA (gr)	24.75	25.33	26.41	22.05	22.19	
PESO TARA (gr)	15.35	12.22	13.05	12.36	13.62	
PESO SUELO SECO (gr)	9.40	13.11	13.36	9.69	8.57	8.15
PESO DE AGUA (gr)	4.76	5.61	5.35	3.28	3.27	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	50.64	42.79	40.04	33.85	38.16	
LÍMITES (%)	44.15			36.00		





OBSERVACIONES:

REALIZA TÉCNICO DE MECÁNICA DE SUELOS	SUPERVISA ING. RESPONSABLE	APRUEBA ING. RESPONSABLE
	WILMER CLAUDIO SILVA SUPERVISOR DE PROYECTOS	V°B° PEDRO RANCAYÁN

409750 410000 410250 410500 410750 411000

8848000 8847750 8847500 8847250 8847000 8846750 8846500

N W E S

Veta Fernando
Veta Perrina
Veta Gema
Veta Jasmin
Veta Jesenia
Veta Paloma
Veta Spirit
Veta Perrina
Veta Piedra
Falla Balconpata
Falla Elva I
Falla Elva II
Falla Dina
Falla Flor

1:2,500

0 125 250 Mts

LEYENDA

100100-APL
100101-APLCZ
100300 - GRT
100400 - GRD
500006 - DAPL
500102 - QZVN
500103 - QSFVN
500203 - HBX
500301 - SDRT
600100 - FA
600200 - SH
900100 - Q
900200 - SOIL
900600 - LAG
CURVAS_10m

SHQ_SUP_FALLAS1000
41201_FA_DF
41202_FA_INF
41204_FA_AP
41211_FA_D_DF
41241_FA_N_DF
41251_FA_R_DF
41261_FA_S_DF
41291_FA_G_DF
41501_FR_DF

SHQ_SUP_DIQUES_Y_VETAS1000
40911_DYKE_ANT_DF
43101_VNLT_DF
43111_VNLT_QZ_DF
43112_VNLT_QZ_INF
43301_VT_DF
43302_VT_INF

DIB/GIS: T.RIVAS - A. INCHE	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION		Lamina:
REVISADO: E.ROBLES	U.E.A. RICOMAS		02
APROBADO: E.ROBLES	MAPA LITOLÓGICO		
FECHA: 10/09/2025	ZONA: 18S	ESCALA: 1:2500	

409750 410000 410250 410500 410750 411000

8848000 8847750 8847500 8847250 8847000 8846750 8846500

N W E S

Veta Gema
Veta Jesenia
Veta Jazmin
Veta Perlina
Veta Fernando
Falla Balconpata
Falla Elva I
Falla Elva II
Veta Perlina
Veta Spirit
Veta Perlina
Veta Chichia
Falla Dina
Falla Flor
Veta Perlina

1:2,500

0 125 250 Mts

LEYENDA

SHQ_SUP_DIQUES_Y_VETAS1000

- 500102 - QZVN
- 500103 - QSFVN
- 600100 - FA
- 600200 - SH
- 40911_DYKE_ANT_DF
- 43101_VNLT_DF
- 43111_VNLT_QZ_DF
- 43112_VNLT_QZ_INF
- 43301_VT_DF
- 43302_VT_INF

SHQ_SUP_FALLAS1000

- 41201_FA_DF
- 41202_FA_INF
- 41204_FA_AP
- 41211_FA_D_DF
- 41241_FA_N_DF
- 41251_FA_R_DF
- 41261_FA_S_DF
- 41291_FA_G_DF
- 41501_FR_DF

- 1_RB Y BZ
- 4_DIACLASA CMI
- 5_DIACLASA CMII
- 6_DIACLASA CMIII
- 7_DIACLASA SMI
- 8_DIACLASA SMII
- 9_DIACLASA SMIII
- 11_FOLIACION

DIB/GIS: T.RIVAS - A. INCHE	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION		Lamina:
REVISADO: R.ROBLES	**U.E.A. RICOMAS**		03
APROBADO: R.ROBLES	**MAPA ESTRUCTURAL**		
FECHA: 10/09/2025	ZONA: 18S	ESCALA: 1:2500	

FOTOS MES DE DICIEMBRE



CARGUÍO DE MATERIAL ORGÁNICO EN LA RELAVERA



TRABAJOS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS CON EXCAVADORA CAT Y DOOSAN EN RELAVERA



COMPACTACIÓN DE ACCESOS PARA TRABAJOS EN LA RELAVERA



VISTA PANORÁMICA DE LOS TRABAJOS EN LA RELAVERA EN PULPA



EL CONTROL DE CALIDAD DE CADA CAPA SE REALIZÓ MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO

FOTOS MES DE FEBRERO



CARGUIO DE MATERIAL ORGÁNICO EN LA ZONA DEL VASO DE LA RELAVERA



REALIZACIÓN DE CANAL DE CORONACIÓN

FOTOS MES DE SETIEMBRE



VISTA PANORÁMICA DE LOS TRABAJOS EN LOS CANALES DE CORONACIÓN



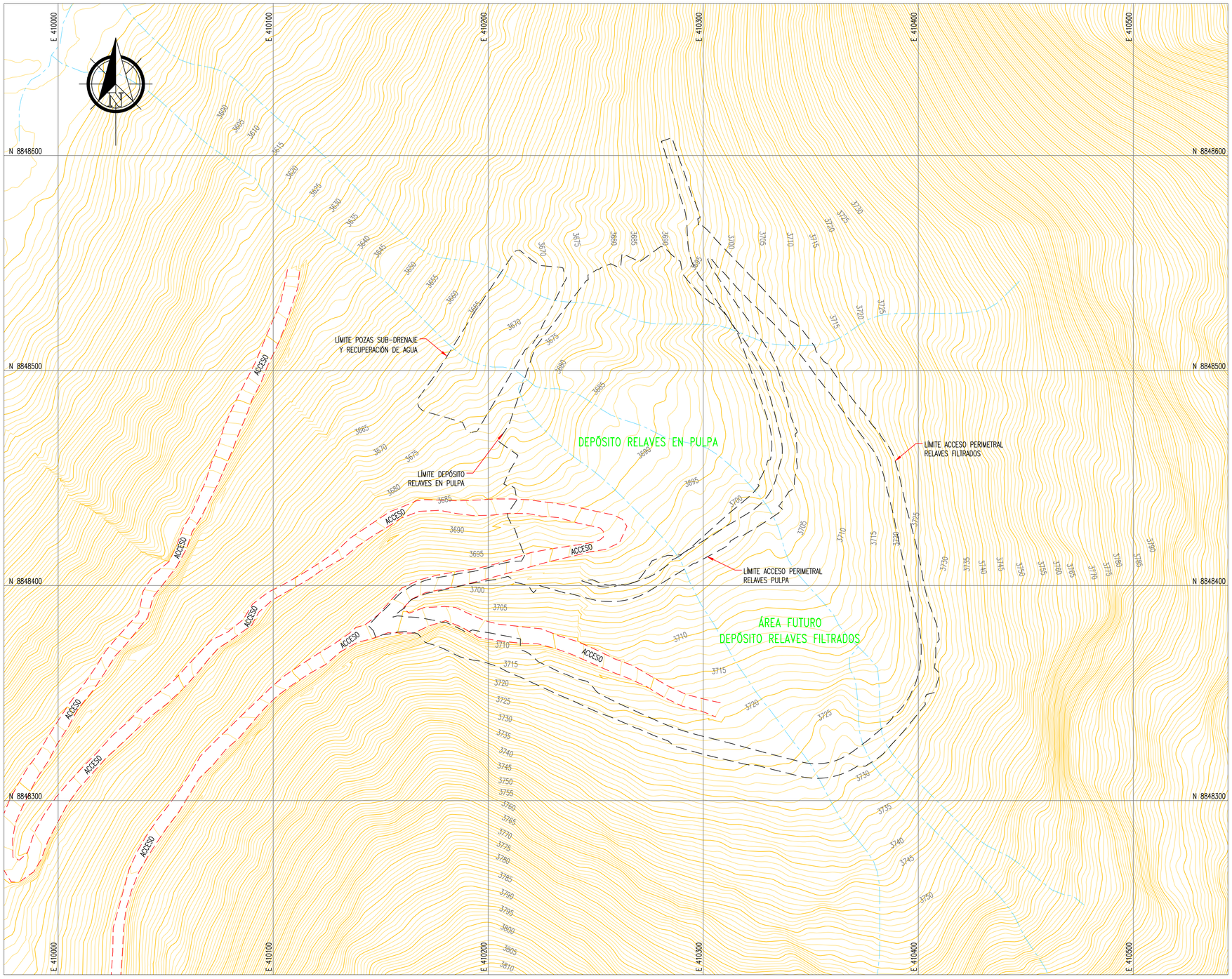
TRABAJOS DE COBERTURA EN EL CANAL DE CORONACIÓN PARA UN CURADO ADECUADO



TRABAJOS DE VACEADO DEL CONCRETO CICLÓPEO EN EL CANAL DE CORONACIÓN



VACIADO DE RELAVE PARA PRUEBA DE DRENAJE



VISTA EN PLANTA

ESC. 1/1,000

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	CURVAS DE NIVEL DEL TERRENO NATURAL
	ACCESOS EXISTENTES
	EJE DE QUEBRADA NATURAL
	HUELLA ESTRUCTURAS PROYECTADAS

AS BUILT
01/08/24

NOTAS

1. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM WGS84, ZONA 18S.
2. EN BASE A INFORMACION PROPORCIONADA POR PAMPA SONQO E.I.R.L. (ABRIL, 2023).
3. LAS MEDIDAS ESTÁN EXPRESADAS EN METROS, SALVO INDICACIÓN EXPRESA.
4. LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A-1.

Revis.	DESCRIPCIÓN	Fecha	Dib.	Revis.	Aprob.
1	AS BUILT	01/08/24	MFR	AE	MR
0	EMITIDO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	16/06/23	MFR	AE	MR
C	EMITIDO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	24/05/23	BE	AE	MR
B	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	12/05/23	MFR	AE	MR
A	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	28/04/23	MFR	AE	MR

ELABORADO: T.RIVAS - A. INCHE

REVISADO: R.ROBLES

ZONA : 18S

PROYECTO: MINERA SUNEC

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

PLANO: TOPOGRAFÍA GENERAL DEL PROYECTO

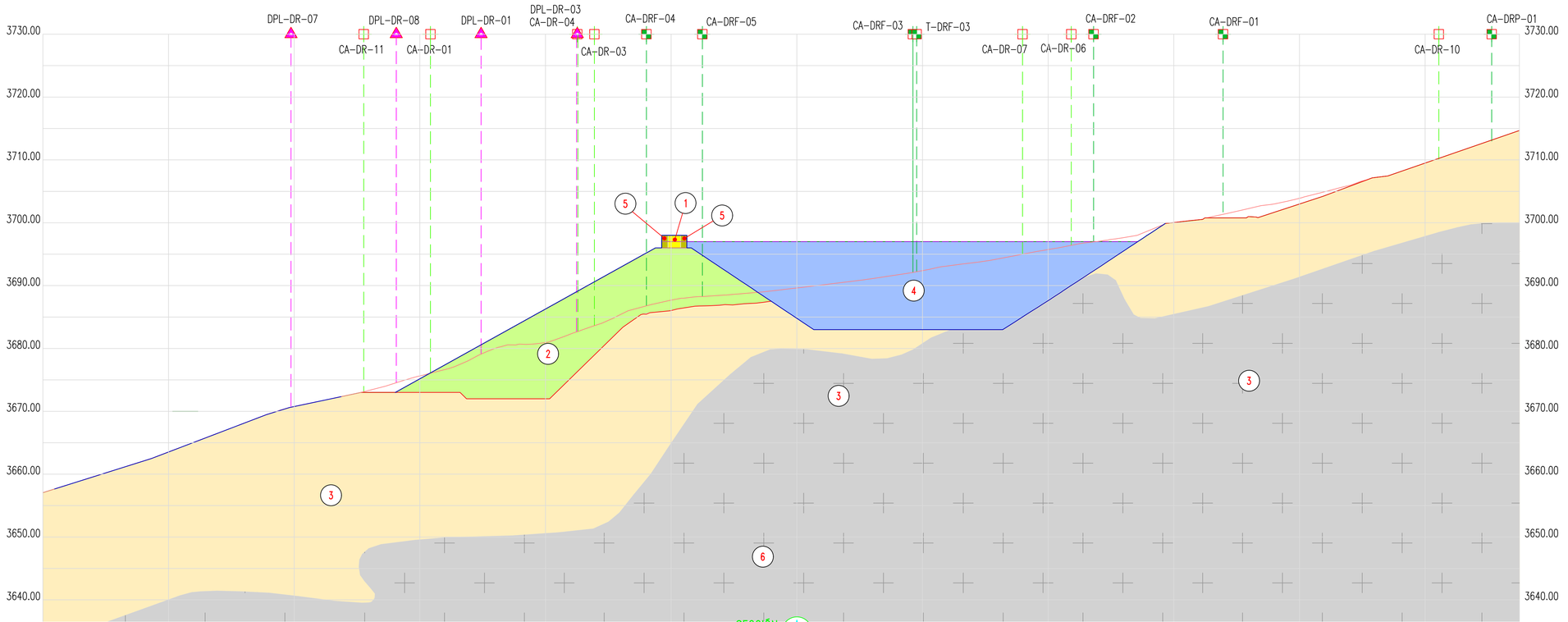
ESC.: INDICADA

FECHA: INDICADA

PLANO: PL-04

REV. No 1

04



SECCIÓN A
ESC. 1/400 201

UNIDAD GEOTÉCNICA	CARACTERÍSTICAS
	Name: 1 Relleno Estructural Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 23 kN/m ³ Effective Cohesion: 5 kPa Effective Friction Angle: 35 °
	Name: 2 Enrocado Slope Stability Material Model: Shear/Normal Fn. Unit Weight: 24 kN/m ³ Strength Function: Función Enrocado
	Name: 3 Suelo de Fundacion Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 20 kN/m ³ Effective Cohesion: 5 kPa Effective Friction Angle: 33 °
	Name: 4 Relaves Slope Stability Material Model: Undrained (Phi=0) Unit Weight: 16 kN/m ³ Total Cohesion: 50 kPa
	Name: 5 Gaviones Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 23 kN/m ³ Effective Cohesion: 17.5 kPa Effective Friction Angle: 40 °
	Name: 6 Basamento Rocoso Slope Stability Material Model: Bedrock (Impenetrable)

ELABORADO:

AS BUILT
01/08/24

ESCALA GRÁFICA
0 10 20 30 40m
ESC. 1:400

NOTAS

1. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM WGS84, ZONA 18S.
2. EN BASE A INFORMACION PROPORCIONADA POR PAMPA SONQO E.I.R.L. (ABRIL, 2023).
3. LAS MEDIDAS ESTÁN EXPRESADAS EN METROS, SALVO INDICACIÓN EXPRESA.
4. LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A-1.

Revis.	DESCRIPCIÓN	Fecha	Dib.	Revis.	Aprob.
1	AS BUILT	01/08/24	MFR	AE	MR
0	EMITIDO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	16/06/23	MFR	AE	MR
C	EMITIDO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	24/05/23	BE	AE	MR
B	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	12/05/23	MFR	AE	MR
A	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	28/04/23	MFR	AE	MR

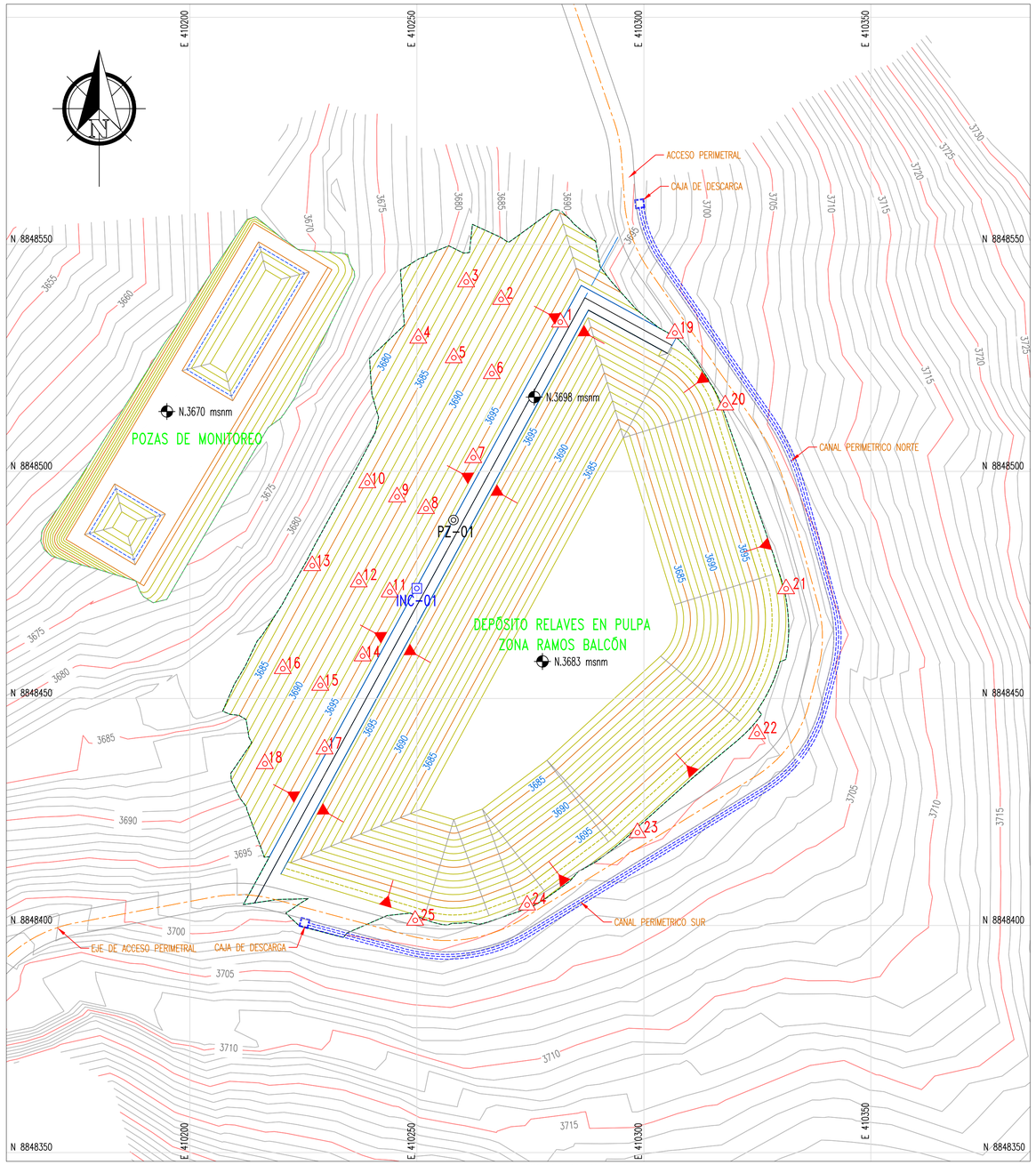
ELABORADO: T.RIVAS - A. INCHE
REVISADO: R.ROBLES
ZONA : 18S
PROYECTO: MINERA SUNEC

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

PLANO: PLANO DE SECCIÓN GEOTÉCNICA

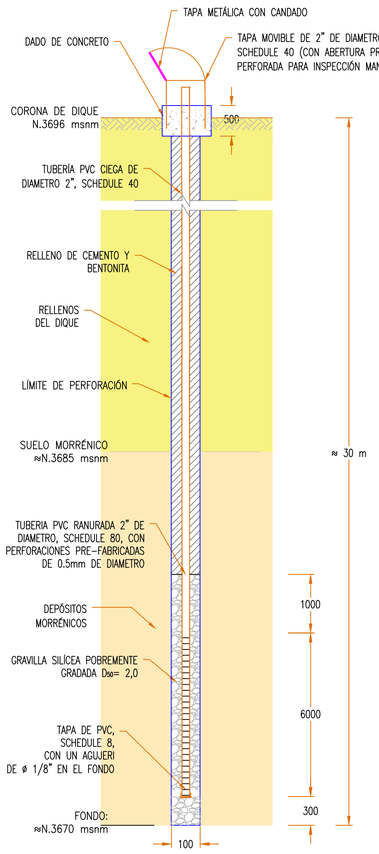
ESC.: INDICADA
FECHA: INDICADA
PLANO: PL-05
REV. No 1

05

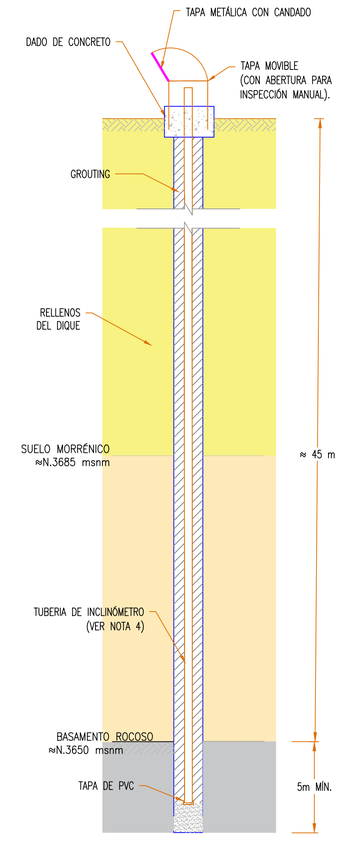


VISTA EN PLANTA
ESC. 1/600

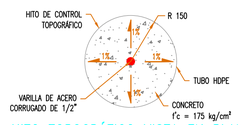
AS BUILT
01/08/24



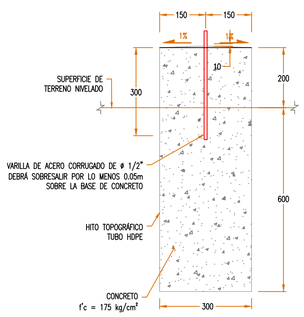
PIEZÓMETRO HIDRAULICO PZ-01
ESC. 1/50



INCLINÓMETRO INC-01
ESC. 1/50



HITO TOPOGRÁFICO VISTA EN PLANTA
ESC. 1/10



HITO TOPOGRÁFICO SECCIÓN
ESC. 1/10

LEYENDA

- CURVAS DE NIVEL DEL TERRENO NATURAL
- CURVAS DE NIVELES DE ESTRUCTURAS PROYECTADAS
- GROUT DE CEMENTO Y BENTONITA
- ARENA FINA
- SUELO
- CONCRETO
- GRAVILLA SILÍCEA
- HITO TOPOGRÁFICO PROPUESTO
- PIEZÓMETRO HIDRÁULICO PROPUESTO
- INCLINÓMETRO PROPUESTO

TABLA N°1 PIEZOMETRO PROPUESTO

COD.	E	N	Prof.
PZ-01	410258	8848489	≈ 30.0 m

TABLA N°.2 INCLINÓMETRO PROPUESTO

COD.	E	N	Prof.
INC-01	410249	8848474	≈ 50.0 m

TABLA N°3 HITOS TOPOGRÁFICOS PROPUESTOS

CÓD.	E	N
HT- 01	410282	8848533
HT- 02	410269	8848538
HT- 03	410261	8848542
HT- 04	410250	8848529
HT- 05	410258	8848525
HT- 06	410267	8848522
HT- 07	410262	8848503
HT- 08	410252	8848492
HT- 09	410246	8848494
HT- 10	410239	8848497
HT- 11	410244	8848473
HT- 12	410237	8848476
HT- 13	410227	8848479
HT- 14	410238	8848459
HT- 15	410229	8848453
HT- 16	410220	8848457
HT- 17	410230	8848439
HT- 18	410217	8848436
HT- 19	410306	8848530
HT- 20	410317	8848514
HT- 21	410331	8848474
HT- 22	410324	8848442
HT- 23	410298	8848420
HT- 24	410274	8848404
HT- 25	410249	8848401

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

1. EL PIEZÓMETRO SERÁ DEL TIPO CASAGRANDE SEGÚN EL DETALLE MOSTRADO Y ESTARÁ ANCLADO EN LOS DEPÓSITOS MORRÉNICOS.
2. EL GROUT DE CEMENTO Y BENTONITA, DEBERÁ TOMAR LA SIGUIENTE DOSIFICACIÓN:
   BENTONITA = 1 Kg
   CEMENTO TIPO I = 2 Kg
   AGUA = 5 LT
3. LAS TUBERÍAS DEL INCLINÓMETRO SERÁN DE 3.0 m CADA UNA DEL TIPO SNAP-ON O SIMILAR, Y DE MARCA RST O SIMILAR.
4. EL INCLINÓMETRO DEBERÁ ESTAR ANCLADO EN EL BASAMENTO ROCOSO EN MÍNIMO 5 m.
5. LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA INSTALADA DEBERÁ CONTAR CON UN PLAN DE MONITOREO PERIÓDICO A SER EFECTUADO POR PERSONAL CON EXPERIENCIA DESIGNADO POR EL CLIENTE.
6. LA INSTRUMENTACIÓN DEBE DE CONTAR CON LETRERO DE IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN.
7. LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO EN EL PLANO.
8. LAS ESCALAS SE MOSTRARAN COMO REALES EN LOS PLANOS IMPRESOS EN A1.

ESCALA GRÁFICA
0 10 20 30 40 50 60m
ESC. 1:600

NOTAS

1. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM WGS84, ZONA 18S.
2. EN BASE A INFORMACION PROPORCIONADA POR PAMPA SONQO E.I.R.L. (ABRIL, 2023).
3. LAS MEDIDAS ESTÁN EXPRESADAS EN METROS, SALVO INDICACIÓN EXPRESA.
4. LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A-1.

Revis.	DESCRIPCIÓN	Fecha	Dib.	Revis.	Aprob.
1	AS BUILT	01/08/24	MFR	AE	MR
0	EMITIDO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	16/06/23	MFR	AE	MR
C	EMITIDO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	24/05/23	BE	AE	MR
B	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	12/05/23	MFR	AE	MR
A	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	28/04/23	MFR	AE	MR

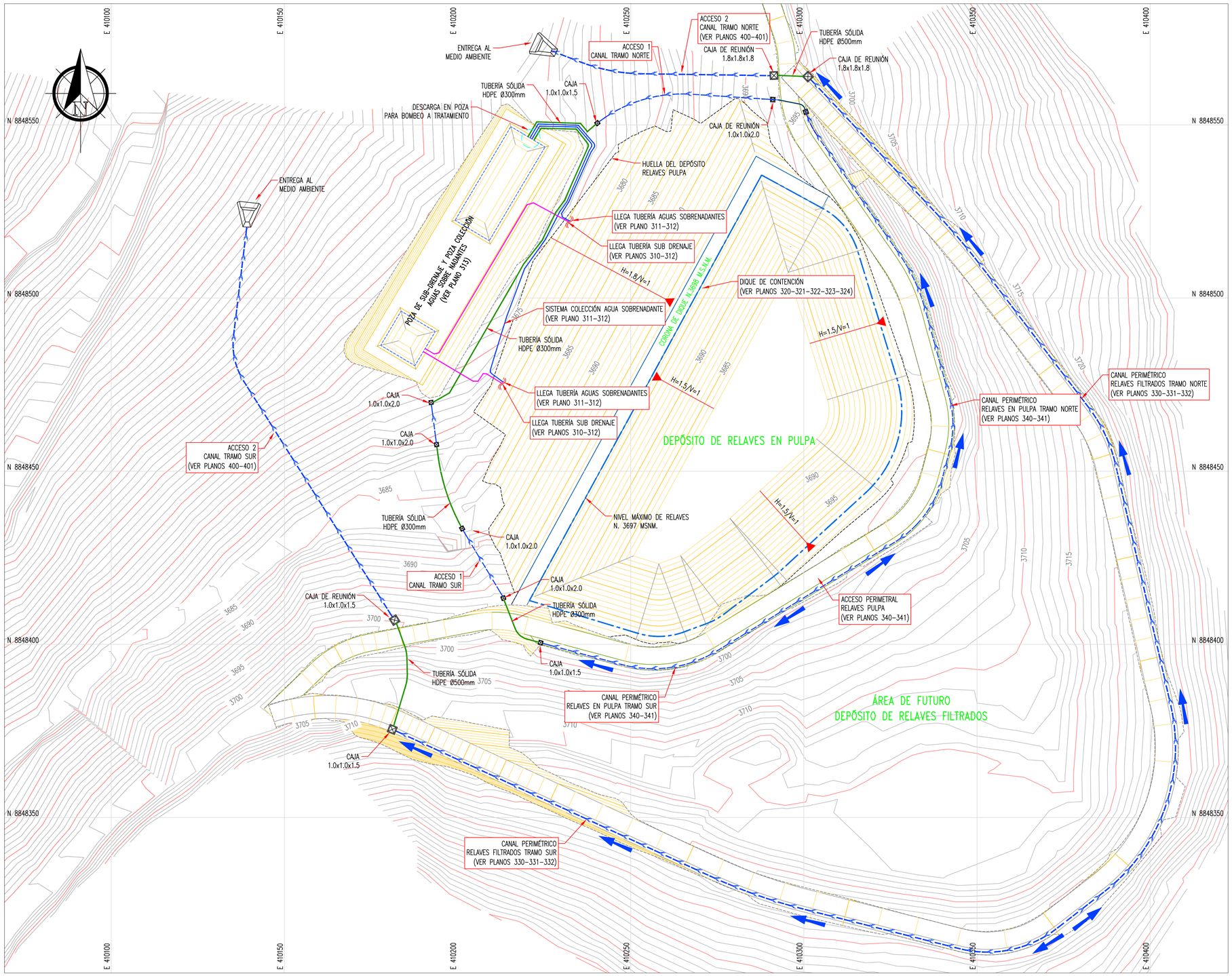
ELABORADO: T.RIVAS - A. INCHE
REVISADO: R.ROBLES
ZONA : 18S
PROYECTO: MINERA SUNEC

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

PLANO: INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

ESC.: INDICADA
FECHA: INDICADA
PLANO: PL-06
REV. No 1

06



VISTA EN PLANTA
ESC. 1/600

LEYENDA

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	CURVAS DE NIVEL DEL TERRENO NATURAL
	CURVAS DE NIVEL ESTRUCTURAS PROYECTADAS
	LÍMITE DE CONSTRUCCIÓN
	ACCESO PROYECTADO
	DEPÓSITO PROYECTADO
	SENTIDO DE FLUJO

AS BUILT
01/08/24

NOTAS:

1. EL SISTEMA DE SUB-DRENAJE:
   - SISTEMA DE SUB-DRENAJE.
   - SISTEMA DE COLECCIÓN DE AGUAS SOBRENADANTES.
   - POZA DE MONITOREO.
2. ESTRUCTURAS DEL DEPÓSITO:
   - DIQUE DE CONTENCIÓN.
   - VASO DEL DEPÓSITO.
3. EL SISTEMA DE REVESTIMIENTO:
   - REVESTIMIENTO DEL VASO DEL DEPÓSITO.
4. ACCESOS PERIMETRALES:
   - ACCESO PERIMETRAL RELAVERA EN PULPA.
5. EL SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS SUPERFICIALES CUENTA CON LAS SIGUIENTES ESTRUCTURAS:
   - CANAL PERIMETRAL RELAVES FILTRADOS TRAMO NORTE
   - CANAL PERIMETRAL RELAVES FILTRADOS TRAMO SUR
   - CANAL PERIMETRAL RELAVES EN PULPA TRAMO NORTE
   - CANAL PERIMETRAL RELAVES EN PULPA TRAMO SUR

ESCALA GRÁFICA
0 10 20 30 40 50 60m
ESC. 1:600

NOTAS

1. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM WGS84, ZONA 18S.
2. EN BASE A INFORMACION PROPORCIONADA POR PAMPA SONQO E.I.R.L. (ABRIL, 2023).
3. LAS MEDIDAS ESTÁN EXPRESADAS EN METROS, SALVO INDICACIÓN EXPRESA.
4. LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A-1.

Revis.	DESCRIPCIÓN	Fecha	Dib.	Revis.	Aprob.
1	AS BUILT	01/08/24	MFR	AE	MR
0	EMITIDO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	16/06/23	MFR	AE	MR
C	EMITIDO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	24/05/23	BE	AE	MR
B	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	12/05/23	MFR	AE	MR
A	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	28/04/23	MFR	AE	MR

ELABORADO: T.RIVAS - A. INCHE
REVISADO: R.ROBLES
ZONA : 18S
PROYECTO: MINERA SUNEC

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

PLANO: CONFIGURACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

ESC.: INDICADA
FECHA: INDICADA
PLANO: PL-07
REV. No 1

07